アマノリ属 *Porphyra* 葉体の人工培養

今田 克, 宇宿友淳, 齊藤祐一, 安藤 真

(1986 年 9 月 3 日受理)

Artificial Culture of Laver Thalli Applied to Larger Scale System

Osamu Imada, Tomoatsu Usuku, Yuichi Saito, and Shin Ando

Artificial culture of the laver thalli of the genus *Porphyra* sp. was carried out using a 2 m³-tank and the following results were obtained.

1. Through floating culture using bubbling-stirring tank provided with draft, the laver thalli showed favorable growth with maximum culture density of laver thalli: 600 g (dry)/m³; maximum productivity of laver per unit volume: 60.3 g (dry)/m³·day; minimum electric power consumed for lighting: 0.80 KWH/g (dry); and maximum daily growth: 30%/day.

2. As the source of light, mercury lamps, particularly, thallium mercury lamps were used and experiments were carried out with strong light at a illumination intensity of up to 350 klx. Under this condition, the growth was lowered to 70% due to hindrance by strong light but still a daily growth of 10%/day could be maintained.

3. Mechanical stirring was attempted in place of bubbling-stirring and it was revealed that with a gentle stirring at 75 rpm, it was possible to substitute mechanical stirring for bubbling-stirring.

4. Use of artificial seawater for a long period was studied and 100 days continuous use was achieved.

5. Germling culture in a large tank was also studied using the spore collection method using shell meal as the substrate. It was confirmed that a large scale germling culture can be utilized without substantial problem.

6. A method of measuring the speed of CO₂-uptake based on the pH change of the culture liquor in the tank was devised and using this method, periodical change of the ability of photosynthesis during the light and dark periods was pursued or the light saturation was measured. The ability of photosynthesis during the light period is lowered with time, while it tends to recover during the dark period.

7. The quality of the artificially cultured laver thalli was compared with that of a maricultured product by means of elemental analysis. As the result, it was recognized that the laver of artificial culture was comparable to the maricultured product of superior quality.

前報^{1),2)}でノリ葉体人工培養用大型槽とこれに附帯する設備、挿入する光源について設計の基本を示した。具体的にはテスト用の主培養槽を約 2 m³ の円筒槽とし、これには気泡流攪拌をドラフトチューブの設置下に応用し良好な循環流を作ること成功した。また主培養槽に附随して前培養槽、孢子着生生育槽、海水調製槽などの槽群、冷却システム、空気源、光源、計装システムなど一連の附帯設備を設け 5 ヶ年余の培養試験を行った。殊に光源はタリウム水銀灯を中心に水中点灯方式の水銀灯を多用し満足のいく性能を実現した。

本報告は培養試験のまとめで、試験槽を用いた多くの培養試験の結果を各項目別に検討したものである。

培養試験の目的は最終的にはノリ人工培養の生産性の追究にあり、具体的には単位液量における生産力、即ち培養密度とそこでの生長速度の積の限界を求めることにある。また如何にエネルギーや海水といった所要資源を効率的に活用し廉価に製品を得るかといった点も検討対象である。

そこで数値のまとまった培養試験データーを全実験例から拾い出し、これ等から培養密度、日生長率、消費電力量をそれぞれ算出して総合的検討を行なうこととした。また強光によるノリ生長の阻害の有無、長期にわたり同一海水を連続使用することの可否、粉体採苗と撚糸採苗の優劣、機械攪拌と気泡攪拌の比較などユーティリ

* 協和醗酵工業株式会社 (Kyowa Hakko Kogyo Co., Ltd., 1-6-1 Ohtemachi Tokyo 100, Japan).

ティーズの効率的な使用についても検討を行なった。さらに培養時の pH の経時変化から炭酸ガスの取込み速度を推算し、日中変化等を追跡することにした。

大型槽での培養実験は小型槽やフラスコと異なり浮遊葉体に対する機械的障害が生じやすく、あるいは大型槽であるがための環境の不均一がノリ葉体の生育に大きく影響し、例えば葉体の局所的な滞留や液面に生ずる泡沫層中に捕捉されるといった現象や寺本³⁾が報じた新しい細菌性疾患、雑菌の急激な増殖、夾雑藻類の繁茂等、生物学的な汚染もしばしば生じ、初期の培養は困難を伴った。さいわいこれらの問題は殺菌剤、抗生物質、硫黄化合物等の薬剤の利用、除菌除藻剤過などの改良によって或程度の解決を得たし、研究員自身も培養に習熟したので後半はかなりのデータを集積することができた。以下に次の各項目に別けて報告する。

1) ノリ葉体の培養成績一覧(培養密度、生長速度、受光量、栄養塩類の消長)、2) 強光による生育阻害の有無、3) 気泡攪拌と機械攪拌の比較、4) 海水の長期使用、5) 粉体採苗と燃糸採苗の比較、6) 炭酸ガスの摂取速度、7) 培養葉体の成分分析。

この研究は昭和 40 年から 44 年まで、協和醸酵工業株式会社東京研究所においてなされたもので十数年の歳月を経ているが、かかる大型槽を用いた総合的な海藻人工培養実験がその後も実施されておらず、報告も無いので、本研究成果は充分検討に値すると思われるので、報告することにした。ただ使用機器の型番が旧番に属するものであることを予め申述べる次第である。また槽、機器の符号は前報¹⁾の設計で用いた記号を流用し統一をなかった。なお上述の 1)~7) の各項目別の実験手法については便宜上結果の中の各項で触れることにし、全般的な培養方法、材料、装置などについて以下に述べる。

方法、材料及び装置

ノリ糸状体、殻孢子、幼芽 供試したノリ種苗は、すべて自社のアマノリ属品種コレクションより分与されたもので、アサクサノリ、ササビノリの両種が用いられた。これらのノリは産地別に来歴が明示されており、アサクサノリでは、岡山産、広島(水呑)産、福島(松川浦)産、福岡(加布里)産で、ササビノリでは、岩手(釜石)産、千葉(浦安)産などである。供試ノリはコレクションより糸状体で分与される場合と、幼芽で分与される場合があり、前者は貝殻または大理石基質に穿孔繁茂した糸状体で、一部にはフリー糸状体も用いた。使用貝殻は牡蠣、または帆立貝の貝殻で、一方大理石は平滑に 6×6×1 cm に成型した板状のものをを用いた。糸状体は殻孢子囊の成熟を顕微鏡で確認後、低温処理を施し、孢子の放出を誘導、孢子を採苗利用した。採苗には担体にナイ

ロン燃糸または粉体を用い、前者は寺本の例に従い、^{4), 5)} 後者は既報のごとく着色貝殻粉末を用いた。⁶⁾ なお特に断らぬ限り前者を用いたが、この場合は 20-30 日間、燃糸上に着生生育せしめ、しかる後糸より掻き落して浮遊培養に移し試験に活用した。

培養槽、培養装置群、培養条件 ノリ葉体の培養には既報^{1), 2)}の培養槽を葉令に合わせて順次あるいは適宜組合せて使用した。また併行して 2 l 既報小型槽や丸底フラスコを用い、実験室条件で培養し比較対照例とした。⁹⁾ 一回の培養試験には 50-70 日を要するが、この間の培養管理は午前 9 時から午後 5 時までの日中にノリ葉体の槽間の移動、光源の増減、海水調整、海水交換、各種状態量の測定など、人手を要する作業を組み、夜間は無人で温度、通気の調節は計器に委ねた。また休日の管理も夜間に準じ、研究員が必要に応じて交替で点検するに止めた。

明暗期の切換はタイマーにより自動的に照明用電源を入切し、8-10 時間の適当な時間を葉令、品種に合わせて設定した。培養槽は槽蓋や遮光幕などを用いて外光の入射を極力防いだ。特に夏期は日長が長く且つ高温なので充分の注意が必要であつた。温度計、pH 計には上下限の警報を設け、温度は $\pm 2^{\circ}\text{C}$ 、pH は ± 0.5 以上設定を外れた場合には研究員に通報が自動的につながるよう信号配線を施した。

特に停電に対する対策は瞬時停電に対しては数秒間の保持回路を挿入して回路遮断器の落ちるのを防ぎ、長期に対しては研究所の非常用電源が作働して少量の通気は直ちに確保し得るようにし、研究員の到着まで一応の安定状態を維持できるものとした。

代表的な培養条件は、水温 $12-20^{\circ}\text{C}$ (葉令に合わせて漸減)、平均照度 7000 lx (光源、タリウム水銀灯及び高圧水銀灯)、明期 8 時間/日、通気量 $0.2-0.3 \text{ vol/vol/min}$ 、pH 8.0 ± 0.1 (CO_2 ガスにて調節) である。試験は物理的、化学的環境をできるだけ斉一にしたにもかかわらず培養結果がかなり変動したので、一つの実験項目に対して数回の培養を反覆し、その結果を総合して結論を求めた。

用水、空気、塩類等 使用した海水はすべて人工海水 ASP 6 須藤改変処方⁷⁾で、この用水は小型槽ではイオン交換樹脂による脱イオン水、大型槽では脱イオン水または井水を用いた。また人工海水調製用の塩の中、主要な食塩及び硫酸マグネシウムは別報⁷⁾に準じ、工業用塩を用い、微量元素用の塩は試薬 1 級を用いた。

使用空気は外気を圧縮機吸込口に簡単なスクリーンをつけ、圧縮後にドレーンセパレーターを設けて除湿し、グラスウール濾過器で除塵し用いた。グラスウールは週一回蒸気殺菌し、乾燥後再使用したが、必ずしも完全な

Table 1. Summarized data of artificial culture of laver

No. of culture Lot.	No. of culture TK	Thalli age at middle Period of two measurements (days)	Culture period (days)	Power input of lamps [PI] KW/m ³	Aver thalli density [D] g(dry)/m ³	Daily weight increase [DG] g(dry)/m ³ ·day	Daily growth rate [G] %/day	Thalli weight increase [ΔW] g(dry)/m ³	Consumpt. of NO ₃ -N [ΔN] g/m ³	Consumpt. of PO ₄ -P [ΔP] g/m ³	Utilized NO ₃ ratio [ΔN/ΔW] (%)	Utilized PO ₄ ratio [ΔP/ΔW] (%)	Utilized power [PI]/[D] [G] KWH×8 h/ g(dry)	Remarks (lamps 'KW × lamp number)/vol. Thallium M. Lamp H. P. M. Lamp
518	00.7	—	1	2.7	109	10.79	7.8	10	0.2	0.1	2.0	1.0	2.02	㊦ (0.4×1)/0.15=2.7
417	005	34	14	2.7	150	13.7	9.1	206	19.2	1.6	9.3	0.8	1.58	㊦ (0.4×1)/0.15=2.7
"	102	47	3	12.6	245	34.5	14.1	102	16.4	1.8	16.1	1.8	2.92	㊦ (1.2×3+㊦0.9×3)=6.3/0.5=12.6
"	"	53	4	12.6	450	42.3	9.4	160	8.2	0.7	5.1	0.4	2.38	—
"	"	60	5	12.6	360	33.8	9.4	167	11.1	0.4	6.7	0.2	3.55	—
415	"	36	4	2.4	86	15.5	28.0	62	—	—	—	—	1.23	㊦ (1.2×1)=1.2/0.5=2.4
415	"	39	2	4.8	136	18.5	31.6	37	—	—	—	—	2.07	㊦ (1.2×2)=2.4/0.5=4.8
415	"	43	7	7.2	225	19.8	8.8	209	27.6	3.3	13.2	1.6	2.91	㊦ (1.2×3)=3.6/0.5=7.2
410	201	47	11	1.7	100	16.9	16.9	142	9.3	1.3	6.5	0.9	0.80	㊦ (3×1)=3.0/1.8=1.7
408	102	44	16	2.0	99	17.7	17.9	298	10.8	0.6	3.6	0.2	0.90	㊦ (1.0×1)=1.0/0.5=2.0
407	005	47	11	2.7	33	6.7	21.1	72	8.4	1.0	11.7	1.4	3.10	㊦ (0.4×1)/0.15=2.7
318	006	43	10	2.7	72	9.7	13.4	93	12.2	2.3	13.1	2.5	2.23	㊦ (0.4×1)/0.15=2.7
317	"	40	11	2.7	123	12.9	10.5	143	10.0	1.1	7.0	0.8	1.67	㊦ (0.4×1)/0.15=2.7
"	102	56	7	12.6	288	27.6	9.6	218	21.2	1.8	9.7	0.8	3.65	㊦ (1.2×3+㊦0.9×3)=6.3/0.5=12.6
"	"	60	6	12.6	493	39.8	10.4	239	—	—	—	—	2.54	㊦ (1.2×3+㊦0.9×3)=6.3/0.5=12.6
316	"	36	7	4.8	113	13.1	15.5	92	4.4	0.72	4.7	0.8	2.93	㊦ (1.2×2)=2.4/0.5=4.8
"	"	41	2	7.2	183	23.5	29.6	47	—	—	—	—	2.45	㊦ (1.2×3+㊦0.9+1)=4.5/0.5=9.0
"	"	43	3	9.2	250	29	19.3	87	—	—	—	—	2.48	㊦ (1.2×3+㊦0.9×3)=6.3/0.5=12.6
"	"	49	8	12.6	414	30.1	8.9	241	—	—	—	—	3.34	"
"	"	55	6	12.6	527	21.3	5.0	128	—	—	—	—	4.73	"
"	"	61	6	12.6	471	21.2	5.6	127	—	—	—	—	4.75	"
312	102	49	3	9.0	275	39.3	14.3	105	13.6	0.7	13.0	0.7	1.83	㊦ (0.9×5)=4.5/0.5=9
311	"	35	5	2.0	58	10.6	18.2	45	4.4	1.2	9.8	2.7	1.50	㊦ (1.0×1)=1.0/0.5=2.0

"	"	40	4	4.0	118	13.3	11.3	49	4.1	0.7	8.4	1.4	2.40	㊟ $(1.0 \times 2) = 2.0/0.5 = 4$
"	201	46	4	1.7	22	4.1	18.5	17	4.3	0.3	25.3	2.1	3.31	㊟ $(3 \times 1) = 3.0/0.8 = 1.7$
"	"	60	4	6.6	208	26.2	12.6	109	4.0	0.2	3.7	0.2	2.50	㊟ $(3 \times 4) = 12.0/1.8 = 6.6$
310	102	42	5	5.4	120	9.7	8.1	54	1.1	—	2.0	—	4.44	㊟ $(0.9 \times 3)/0.5 = 5.4$
"	"	48	5	5.4	200	15.0	7.5	63	5.2	0.6	8.2	0.9	2.88	"
"	201	54	2	1.7	59	12.3	20.8	22	4.9	0.5	22.3	2.4	1.10	㊟ $(3 \times 1) = 3.0/1.8 = 1.7$
"	"	60	5	1.7	110	11.7	10.6	54	8.0	0.7	14.8	1.3	1.16	"
309	"	35	7	1.7	9	2.0	21.9	22	3.8	—	17.0	—	6.80	"
"	"	41	5	1.7	58	12.4	21.4	48	7.3	1.1	14.2	2.2	1.10	"
307	102	38	6	1.8	57	10.4	18.2	57	6.4	2.1	11.2	3.7	1.38	㊟ $(0.9 \times 000/0.5) = 1.8$
"	"	43	4	1.8	120	18.7	15.6	70	—	—	—	—	0.77	"
"	"	48	5	1.8	138	25.0	18.1	108	2.1	1.0	2.0	0.9	0.46	"
"	"	53	5	7.2	232	15.0	6.5	82	7.6	1.1	9.3	1.3	1.92	"
"	"	61	10	3.6	470	40.9	8.7	397	13.9	0.6	3.5	0.2	0.70	㊟ $(0.9 \times 2)/0.3 = 6$
"	201	38	5	1.7	22	7.4	33.7	37	2.8	1.6	7.6	4.3	1.84	㊟ $(3 \times 1) = 3.0/1.8 = 1.7$
"	"	42	4	1.7	59	10.0	16.9	42	1.4	0.5	3.3	1.1	1.36	"
"	"	47	5	1.7	112	16.6	14.8	62	3.7	0.6	6.0	1.0	0.82	"
305	"	42	2	1.7	87	10.6	12.2	20	2.8	0.7	13.8	3.5	1.28	"
"	"	46	3	1.7	124	10.4	8.4	30	3.4	0.6	11.5	2.1	1.30	"
304	"	34	2	1.7	13	2.5	18.9	4	4.3	0.3	97.7	5.7	5.44	"
"	"	36	2	1.7	18	2.7	14.9	5	1.1	0.2	22.0	4.1	5.04	"
"	"	40	3	1.7	19	2.1	10.9	6	2.6	0.2	60.0	4.0	6.48	"
"	"	43	—	1.7	28	—	—	6	1.9	0.3	—	—	—	"
"	"	49	5	1.7	56	8.1	14.4	39	3.9	0.3	10.1	0.8	1.67	"
"	"	53	4	1.7	93	2.4	2.6	7	0.7	0.2	9.5	3.1	5.67	"
"	102	64	2	9.0	520	54.6	10.5	11	2.2	0.4	2.1	0.4	1.31	㊟ $(0.9 \times 5) = 4.5/0.5 = 9$
"	"	68	3	9.0	640	25.0	3.9	74	1.4	0.1	1.9	0.01	2.88	"
303	201	36	3	1.7	20	3.0	14.9	10	2.2	0.5	22.2	5.0	4.53	㊟ $(3 \times 1) = 3.0/1.8 = 1.7$
"	"	43	9	1.7	38	3.8	10.2	38	3.8	0.9	9.9	2.4	3.49	"
"	"	49	2	1.7	66	13.1	19.8	24	0.7	0.5	3.0	1.9	1.04	"
302	201	32	2	1.7	11	1.4	12.4	3	0.4	—	16.7	—	9.71	㊟ $(3+1) = 3.0/1.8 = 1.7$
"	"	39	3	1.7	27	4.1	15.3	12	2.7	0.1	23.5*	1.1	3.30	"
"	"	44	6	1.7	57	6.3	11.1	40	6.9	0.4	14.4	6.9	2.15	"
"	"	49	4	3.4	111	14.2	12.8	52	4.7	0.4	9.1	0.8	1.92	㊟ $(3 \times 2) = 6.0/1.8 = 3.4$
"	"	54	5	3.4	168	15.5	9.2	75	6.7	0.9	8.9	1.3	1.75	"
221	007	48	13	—	156	12.5	8.0	160	23.8	2.3	14.9	1.4	—	"
"	102	62	7	7.2	300	36.3	12.1	237	25.0	2.8	10.6	1.2	1.58	㊟ $(1.2 \times 3) = 3.6/0.5 = 7.2$

Table 1. (Continued)

No. of culture Lot.	No. of culture TK	Thalli age at middle period of two measurements (days)	Culture period (days)	Power input of lamps [PI] KW/m ³	Aver thalli density [D] g(dry)/m ³	Daily weight increase [DG] g(dry)/m ³ ·day	Daily growth rate [G] %/day	Thalli weight increase [ΔW] g(dry)/m ³	Con- sumpt. NO ₃ -N [ΔN] of g/m ³	Con- sumpt. PO ₄ -P [ΔP] of g/m ³	Utilized NO ₃ ratio [ΔN/ΔW] (%)	Utilized PO ₄ ratio [ΔP/ΔW] (%)	Utilized power [PI]/[D] [G] KWH×8 h/ g(dry)	Remarks	
														Ⓢ	(lamps' KW × lamp number)/vol. Thallium M. Lamp H. P. M. Lamp
220	006	43	4	—	38	5.1	13.5	19	2.0	0.4	10.8	2.2	—	Ⓢ	"
219	201	79	7	1.7	87	8.5	9.8	55	22.2	40.7	0.9	1.7	1.60	Ⓢ	(3×1)=3.0/1.8=1.7
217	"	46	4	2.0	45	7.5	26.0	30	—	—	—	—	2.13	Ⓢ	(1.0×1)=1.0/0.5=2.0
217	"	67	6	15.2	555	50.8	12.0	305	—	—	—	—	2.39	Ⓢ	(3×1.2+1×4)/0.5=15.2
214	"	59	8	1.7	52	8.5	16.4	68	6.3	0.9	9.3	1.4	1.60	Ⓢ	(3×1)=3.0/1.8=1.7
213	102	41	4	2.4	64	13.9	21.7	58	10.8	1.2	18.6	2.1	1.38	Ⓢ	(1.2×1)/0.5=2.4
"	"	45	4	4.8	150	26.9	17.9	100	8.0	1.7	8.0	1.7	1.43	Ⓢ	(1.2×2)/0.5=4.8
"	201	60	7	5.0	155	24.2	15.6	141	3.6	0.7	2.6	0.5	1.65	Ⓢ	(3×3)=9/1.8=5.0
212	102	36	10	2.4	151	18.6	12.3	170	31.1	1.2	18.3	0.7	1.03	Ⓢ	(1.2×1)/0.5=2.4
"	"	43	4	4.8	343	37.0	10.8	127	9.8	0.7	7.7	0.6	1.04	Ⓢ	(1.2×2)/0.5=4.8
"	"	47	4	7.2	422	16.9	4.0	65	4.7	0.3	7.2	0.4	3.41	Ⓢ	(1.2×3)=3.6/0.5=7.2
"	"	53	8	9.6	610	44.5	7.3	334	10.5	0.8	3.2	0.3	1.94	Ⓢ	(1.2×4)=4.8/0.5=9.6
208	201	44	4	1.7	49	8.6	17.5	31	2.3	0.1	7.4	0.3	1.58	Ⓢ	(3.0+1)/1.8=1.7
120	005	44	11	—	92	9.3	10.1	82	10.6	0.8	13.0	0.9	—	Ⓢ	"
117	006	38	7	—	69	6.3	9.2	41	5.7	1.6	14.1	4.0	—	Ⓢ	"
114	102	48	5	2.4	112	19.2	17.1	82	6.0	0.5	7.3	0.7	1.00	Ⓢ	(1.2×1)/0.5=2.4
"	201	53	4	1.7	33	11.4	34.6	36	2.6	0.3	7.3	0.7	1.19	Ⓢ	(1×3)/1.8=1.7
"	"	58	6	3.4	88	15.5	17.6	84	7.4	0.5	8.8	0.5	1.75	Ⓢ	(2×3)/1.8=3.4
113	005	41	3	—	74	15.8	21.3	44	1.3	0.3	3.0	0.6	—	Ⓢ	"
"	"	47	7	—	165	10.9	6.6	68	1.6	0.3	2.4	0.4	—	Ⓢ	"
112	005	35	—	—	109	12.0	11.0	73	6.9	0.7	9.4	0.9	—	Ⓢ	"
"	"	41	5	—	194	15.9	8.2	76	2.6	0.1	3.4	0.2	—	Ⓢ	"
109	102	57	3	1.8	65	8.6	13.2	24	7.5	0.9	31.3*	3.6	1.67	Ⓢ	(0.9×1)=4.5/0.5=1.8
106	201	40	5	1.7	16	1.7	10.9	6	4.4	0.7	69.9*	11.8*	8.0	Ⓢ	(3.0×1)/1.8=1.7
"	102	46	5	2.4	167	15.7	9.4	83	5.7	0.6	6.9	0.7	1.22	Ⓢ	(1.2×2)/0.5=2.4
"	"	52	6	4.8	300	31.2	10.4	185	6.5	1.1	3.5	0.6	1.23	Ⓢ	(1.2×2)/0.5=4.8
"	"	63	4	7.2	490	60.3	12.3	222	6.3	0.5	2.8	0.2	0.95	Ⓢ	(1.2×3)/0.5=7.2
"	"	68	5	9.6	622	8.7	1.4	43	9.0	0.9	20.9*	2.0	9.39	Ⓢ	(1.2×4)/0.5=9.6
Total (Aver.)	88 (—)	— (—)	473 (5.4)	— (—)	84,089 (177.8)	(17.28)	(13.16)				(9.54)	(1.48)	(2.48)	—	

Table 2. Relation among culture density, growth rate, NO₃, PO₄ and power utilization ratios in culture of laver in tank

Culture density g (dry)/mt	Test runs number	Total days of culture days	Average thalli density g (dry)/m ³	Daily weight increase g (dry)/m ³	Daily growth rate %/day	Utilized NO ₃ ratio %	Utilized PO ₄ ratio %	Utilized power ratio KWH/1 g
less than 100	38	192	56.9	8.71	16.61	11.38	—	2.93
100-199	25	150	136.6	15.61	12.34	8.86	1.03	1.64
200-299	8	37	240.4	24.18	10.60	10.29	1.06	2.34
300 and over	17	94	465.5	34.77	8.45	5.16	0.56	2.68
Total (average)	88	473	(177.8)	(17.28)	(13.16)	(9.54)	—	(2.48)

Table 3. Relation among age of thalli, daily growth rate and power consumption rate in culture of laver in tank

	Age of thalli (days)								
	30 34	35 39	40 44	45 49	50 54	55 59	60 64	65 69	70 over (Average)
Number of test	3	13	24	20	8	5	10	3	1
Average daily growth rate (%/day)	10.55 [18]*	17.60 [67]	13.56 [131]	13.47 [111]	11.24 [38]	12.45 [30]	10.67 [56]	6.48 [14]	9.8 [7]
Average power consumption rate (KWH/g)	2.91 [18]*	2.70 [54]	1.74 [126]	1.97 [91]	2.10 [38]	2.74 [30]	1.86 [56]	5.00 [14]	1.60 [7]
									(2.18) [434]

* Number in [ ] shows culture period (days).

除菌は得られなかった。使用空気圧は圧縮機出口の空気貯槽で 2.3-2.5 kg/cm² に調節するよう圧縮機アンローダーを作動せしめた。

使用炭酸ガスはボンベ詰め液化炭酸を加熱気化して用い、別報⁷⁾ ボイラー廃ガスの利用は大型槽では実用に至らなかった。

分析等 培養時のノリ葉体及び環境の経時変化は各項目別に分析調査した。その項目はノリ葉体寸法、ノリ葉体培養密度、平均照度、温度、pH、硝酸態窒素 (NO₃-N)、磷酸態磷 (PO₄-P)、鉄塩、一般細菌数などである。ノリ葉体寸法は幼芽期は顕微鏡下の細胞数、幼芽後期以降は全葉体から抽出した試料について葉長、葉幅を測定しその平均を求め mm 単位で示した。ノリ葉体培養密度は全葉体を汙別回収し簡単に水切りして重量を測定し、一部を試料の水分含量を求めるため乾燥して乾物重量を求め、この両者より全乾重を推算し培養液量との商として g(dry)/m³ にて表示した。照度は既報³⁾ の平均水中照度計を用いて、槽の上中下三ヶ所を光源からの一定距離毎に照度を実測し、これらの実測値を容積比で接分して平均照度とした。温度は測温抵抗体を用い連続記録計で測定記録した。pH はガラス電極を用い、連続記録測定した。なお pH メーターは週一回標準液を用いて更正を行なった。硝酸態窒素はマリン・リレー法、磷酸態磷はモリブデン・ブルー法による比色定量法によった。

一般細菌数は海水平板寒天培養法を用い、稀釈系列、用いた常法に則った。

結 果

ノリ葉体の培養成績一覧 (培養密度、生長速度、受光量、栄養塩類の消費) 大型槽を用いた培養実験は、培養至適温度の検索や海水組成、ノリ品種間の比較など各種要因の解析に多用されたが、この中から比較的順調な生育経過を示し且つデーターの整っているものを抽出し、ロット番号、使用槽、葉令培養期間、光源電力量 (PI)、培養密度 (D)、増重量 (AW)、日生長量 (DG)、日生長率 (G)、消費硝酸塩量 (ΔN)、消費磷酸塩量 (ΔP)、を表にまとめて Table 1 に示した。表には更にこの結果から単位増重当りの硝酸塩消費量、磷酸塩消費量、消費光源電力量 (ΔN/ΔW, ΔP/ΔW, PI/DG), を算出し表示した。葉令は培養期間の中央値で示してある。表中同一ロットのものが連記されているのは、培養途中で何度かサンプリングした結果で、培養槽ナンバーが変わっているのは培養密度が高くなったため、より大きな槽に移されたことを示している。ロット 310 を例にすると、前培養槽 (TK No. D-102) と、主培養槽 (TK No. D-201) の 2 槽で各 4 回のサンプリングにより、各 2 期間の生育状況が示されている。即ち D-102 では日令 40~44, 46~50, D-201 では日令 53~54, 58~62 日の

結果が示されている。また日生長率、培養密度は当然のことであるがサンプリング期間中の平均として示されをている。

Table 1 の葉体培養密度 [D] は葉令あるいは槽別によりバラツいているが、 100 g/m^3 以下 $100 \sim 199 \text{ g/m}^3$, $200 \sim 299 \text{ g/m}^3$, 300 g/m^3 以上の 4 区に区分して生長率と単位重量当りの硝酸塩、磷酸塩利用率及び消費光源電力量を対比してみると、Table 2 の如くまとまる。Table 2 では各区とも増重が認められるが、日生長率は培養密度の増加に逆相関して減少している。この日生長率と培養密度の関係は、生長率を片対数にグラフにすると、ほぼ直線上に示され、相関係数 95.2% で次式にまとめられる。

$$\log [\text{DG}] = -1.53 [\text{D}] + 2.80$$

ここで [DG], [D]: は Table 1 に示した略号と同一内容である。一方、硝酸塩、磷酸塩利用率や、消費光源電力量には一貫した傾向は認められず、バラツキの幅もかなり大きい。単位液量当りのノリ生産力は日生長率と培養密度の積、即ち日増重量であるが、Table 2 に示したごとく、この値は培養密度を高くするにしたがって増大しており、同一照度下での培養に関しては密度を高めれば、それなりの生産量が得られることを示している。この事は上述の式の勾配が比較的少いことから充分考えられる事であるが、しかし少くとも負の勾配であることは同一照度でも培養密度が増大することによって生ずる葉体相互の遮蔽効果が強弱光の幅を強め、負に働いていることを示している。殊に既報⁹⁾ 間欠照明実験で示した強弱光の影響が、 5 Klx と 20 Klx 間で、14 日間の培養において日生長率に対し 1.6% しか影響していない事に比べると、培養密度 100 以下と 300 以上の間で 8% もの開きになっている点で高密度による強光の影響が重大であることを物語っている。次に日生長率と単位増重量当りの消費光源電力量を試験葉令別に 5 日刻みに区分した 9 区に別けて比較すると Table 3 となる。この表では葉令 35-39 日で日生長率が最大となり、50 日令以降徐々に低下し 65 日以降は急に衰えて成熟することがわかる。消費光源電力量は必ずしも葉令と関連しないが、個々の実験例間のバラツキにその主因があると思われる。

Table 1 の個々の結果をみると、葉体培養密度はロット 304, ロット 212, ロット 106 では区間平均値で 600 g (dry)/m^3 を超え、その区間の最大値では 700 g (dry)/m^3 にも達した。これ等の値は当初の目標 500 g (dry)/m^3 を凌駕したが、最終目標と考えた 1000 g (dry)/m^3 には到達しなかった。また単位液量当りノリ生産力 [DG] ではロット 304 の $54.6 \text{ g (dry)/m}^3 \text{ day}$, ロット 217 の $50.8 \text{ g (dry)/m}^3 \text{ day}$, ロット 106 の $60.3 \text{ g (dry)/m}^3 \text{ day}$

Fig. 1. Conceptual figure of test vessel with seawater circulation system for comparing laver thalli growth under soft and intense lighting caused by different diameter of protect tube.

1. 500 mm ϕ protect tube for mercury lamp provided soft lighting.
2. 150 mm ϕ protect tube for mercury lamp provided soft lighting.
3. testing vessel.
4. circulating seawater cooler.
5. circulating seawater filter.
6. circulating pump.
7. screen and separation plate for vessel.

が高く、その時の消費光源電力量 [PI]/[DG] はそれぞれ 1.31 KWH/g (dry) , 2.39 KWH/g (dry) , 0.95 KWH/g (dry) と比較的低い値を示しており、生理的、あるいは

Table 4. Comparative test of laver thalli culture for different light intensities caused by changing diameter of protect tubes

Test No. 1 (lot 317)						Test No. 2 (lot 221)							
Culture age (days)	Soft lighting (550φ prot. tube)		Intense lighting (150φ prot. tube)		Remarks	2/ vessel parallel test	Culture age (days)	Soft lighting (550φ prot. tube)		Intense lighting (150φ prot. tube)		Remarks	2/ vessel parallel test
	thalli density (g/m³)	thalli size aver. (max) L(mm) × W(mm)	thalli density (g/m³)	laver size aver. (max) L(mm) × W(mm)				thalli density (g/m³)	thalli size aver. (max) L(mm) × W(mm)	thalli density (g/m³)	thalli size aver. (max) L(mm) × W(mm)		
68	—	—	—	—	start	500 500	72	—	—	—	—	start	850
69	172	14 × 2 (30 × 5)	123	12 × 4	*2		73	77	—	113	—		
70	230	—	145	—			74	100	—	106	—		
71	133*1	16 × 2 (22 × 3)	178	13 × 2 (33 × 2)	*2	680 800	75	—	30 × 2 (70 × 5)	—	25 × 2 (54 × 4)	*3	
72	151	—	150*1	—			76	107	—	143	32 × 3 (55 × 5)	*3	1200
73	213	—	140	—			77	—	35 × 4 (65 × 5)	—	—		500*1
74	218	17 × 2 (30 × 4)	148	16 × 2 (40 × 4)	*2	1050 850	78	128	—	170	—		
75	204	—	139	—			80	174	—	197	—		700
76	79*1	20 × 2 (31 × 4)	103*1	13 × 2 (42 × 4)	*2		82	227	—	255	—	*2	
77	83	—	111	—		1000	84	259	—	235	—		
79	114	—	133	—			85	95*1	—	120*1	—		
81	158	25 × 3 (42 × 6)	146	25 × 3 (45 × 6)			86	104	60 × 4 (90 × 7)	123	50 × 5 (100 × 10)		
83	188	22 × 3 (31 × 6)	151	20 × 4 (55 × 7)			88	141	—	171	—		
85	219	25 × 4 (53 × 4)	161	35 × 4 (51 × 17)	*4		90	202	—	198	—	*4	
86	—	—	—	—	harvest		92	—	70 × 4 (125 × 7)	—	60 × 6 (122 × 8)	harvest	

*1 Thalli density was adjusted.

*2 Spot disease was recognized.

*3 Foaming occurred on the surface of culture water.

*4 Laver's color was a little more dark in soft lighting class.

Fig. 2. Time course of laver culture comparing soft and intense lighting. ●—●: soft lighting, ○—○: intense lighting, △—△: 2l flask culture for control. Numbers in ( ) mean age of tested laver thalli (days) and culture period (days) based from reconducted day.

は環境的な好条件下では、このような良好な生育も得られることを示している。

強光による生育阻害の有無 Table 1 で葉体培養密度の上昇が強弱光の影響をより鮮明にしていることを述べたが、主及び前培養槽では 150 mm 径の水中保護筒に光源を収容して用いるので、例えば 3 KW 光源を用いた場合には既報²⁾ 配光曲線より推定すると、保護筒表面での照度は 350 Klx にも達すると思われる。そこでこの様な強光による阻害を確かめるため別に大型保護筒を製作し、両者間の比較試験を行なった。即ち槽を2分割し、それぞれの半円筒状の槽内に径 550 mm と 150 mm の保護筒を別々に設置し、この中に 3 KW タリウム水銀灯 (日本電池(株)製, HQW-300 GT) を挿入し、同時併行して同一ロットのノリ葉体の培養を行ない、生長比較を試みた。ノリ葉体は仕切板で二分され、一方海水は一日当り 26 m³ の割合でポンプにより熱交換器を介して循環し、その一部は仕切板に設けた網を通じて自由に各半円筒部に流れるようにした。半円筒部の実容積は保護筒の大きさによって若干異なり、それぞれ 1.4 m³、1.8 m³ である。培養温度は 12°C±0.5°C pH は 8.0±0.1、通気量は 14 m³/h とし、炭酸ガスを明期には添加し、明期は 8 時間 (AM 9-PM 5) とした。サンプリングは毎日一回、海水 5 l を葉体の浮遊状態でサンプリングし、汙別、葉体を分別乾燥して重量測定を行なうと共に一部を顕微鏡観察し、生育状況を確認した。槽の概要

を Fig. 1 に示し、培養経過を Table 4 及び Fig. 2 に示す。

試験は 2 回、ロット 317 では葉令 68 日から 85 日までの 17 日間、ロット 221 では葉令 72 日から 91 日までの 19 日間である。Table 4 に各区の葉体培養密度、葉体寸法 (平均及び最大)、培養状況を表示し、Fig. 2 には培養密度の経過を図示した。なお培養時には葉体の一部を 2l 小型槽で併行して培養し、比較点検したのでその経過も併記した。

3 KW タリウム水銀灯 (HQW-3000 GT) の配光曲線より推定すると、最高照度は 150 mm 小型保護筒表面では 350 Klx、550 mm 大型保護筒表面では 30 Klx であり、無葉体時の照度実測値と大略一致した。

Table 4 の培養試験結果をみると、培養は一部穴ぐされ病³⁾ を除き順調で葉体寸法は両試験区間で大差なかった。途中で濃度が過大になったため、一部の葉体を取り除き濃度調節して再試験したので Fig. 2 では各ロットとも 2~3 の曲線が得られている。またサンプリングから推定した濃度と全量取上げ時の重量から算出した濃度の間に若干のズレのある場合があり、サンプリング誤差の間と思われる。Fig. 2 の勾配を比較すると、大型保護筒を用いた区は小型保護筒を用いた区より優れており、併行テストの 2l 小型槽よりもさらに良い結果となった。Fig. 2 の試験期間中の平均葉体培養密度が約 140 g/m³ であるので、このレベルで対比すると、Table 5 の如く

Table 5. Summary of results in faver thalli culture test shown in Table 4 (Comparison of daily growth rates for the culture density of 140 g/m³)

Sections	Test No. (lot)			
	Test No. 1 (Lot 317)	Test No. 2 (a) [Lot 221 (a)]	Test No. 2 (b) [Lot 221 (b)]	Average
	%/day	%/day	%/day	%/day
(1) Soft lighting test vessel	13.3	11.9	16.0	13.7
(2) Intense lighting test vessel	5.7	10.8	11.6	9.4
(3) 2 l test vessel	9.7	13.6	13.6	12.3
(2)/(1)	0.43	0.91	0.73	0.69
(1)/(3)	1.38	0.88	1.18	1.15
(2)/(3)	0.59	0.79	0.85	0.74

Table 6. Results of laver culture test for comparison of

Mechanical agitated flow (lot 415)**						
Thalli age (days)	Light intensity (Klx)	Lamps Number × KW (kinds of lamps)* ¹	Thalli density (g/m ³)	Average size of thalli L (mm) × W (mm)	N, P salt conc. in sea water (mg/ml) (N) (P)	
32	19.4			4 × 0.3		
34	6.1	1 × 1.2 (T)	55	5 × 0.4	—	4.2
36	4.8		86	5 × 0.8		
38	18.5	2 × 1.2 (T)	117	7 × 0.8	36	5.6
40	13.5		154			Foaming
42	13.5	3 × 1.2 (T)	210	9 × 0.8	28	—
44	—		278	13 × 1.0		
46	9.5		344	14 × 1.0	84	2.3
48	19.6	* ¹	380	13 × 1.0	—	0.9
50	14.2	* ²	425	16 × 1.0		
52	11.6	3 × 1.2 (T)	571/475	18 × 1.5		
54	19.9	3 × 1.0 (M)	482	20 × 1.0	—	0.4
56	14.7		507	20 × 1.3	31	0.5
58						Dead
60						

+1 Symbol of kinds of a lamp mean as follows; (T)=Thallium mercury lamp, (M)=High pressure mercury lamp.

*¹, *², *³ shown on remarks column.

** Test conditions; Temp. 12°C, pH 7.9 ± 0.1, liq. volume 500 l, aeration 6 l/min (mechanical) 70 l/min (air bubbling), mechanical stirring 75 rpm (mechanical).

日生長率比で小型保護筒区は大型保護筒区の 69% しかない。ただ生産性では容積的に小型保護筒区が大きいので、その補正をすると 88% に達する。Table 4 で葉体色調が大型保護筒区の方が濃いという指摘も強光の影響と考えられる。

気泡攪拌と機械攪拌の優劣 前培養槽 (D-102) には攪拌機を装着できる様に設計したので、気泡流攪拌でノリ葉体の槽壁への附着や水面における泡沫層の形成が著しい場合に、これらを回避するねらいもあって機械攪拌を試みた。当然のことながら機械攪拌といってもガス置換のための通気は必須であり、逆に機械によるノリ葉体の損傷も考えられる。したがって少量の通気を併用して機械攪拌の試験を行った。

攪拌機は槽の中心に上蓋に固定し吊下げた。攪拌翼は槽径に概略等しい撹型翼とし、軸に対して 45° ひねった撹とした。メーカーは島崎製作所、ローター式アジター RS-50F という機種で、これに SCM-400 リングコーン付減速機を接続し 5~75 r.p.m. まで回転数を連続的に可変とした。一方光源は攪拌機軸を中央に設けたため、器壁とのちょうど中間位置に円周状に最大 7 基まで取付けられるよう座を設けた。この実際は既報¹⁾の写真に示した。

試験は交互に気泡流と機械攪拌を繰返して行ったが、いずれの場合も併行して既報²⁾の小型槽で同一ロットの培養試験を行い、その生長率が試験槽データーとほぼ一致する例を正常として比較に供した。

effect by air bubbling or mechanical agitating flow**4

Air bubbling flow (lot 217)**4						
Thalli age (days)	Light intensity (Klx)	Lamps Number × KW (kinds of lamps) ⁺¹	Thalli density (g/m ³)	Average size of thalli L (mm) × W (mm)	N. P salt conc. in sea water (mg/ml) (N) (P)	
42	32.0					
44	25.3	1 × 1.0 (M)	30	9 × 2.8	11.6	3.4
46	19.4		44	8 × 2.3	17	2.5
48			60	—		
50	22.8		79	10 × 3.2	25	4.0
52	21.5	2 × 1.2 (T)	80	12 × 6		
54	20.7		107/96	15 × 5.5	23	—
56	24.1		149	18 × 4		
58	17.8	2 × 1.2 (T)	193	27 × 7	11	3.0
60	6.5	2 × 1.0 (M)	224	26 × 9	2.0	7.0 *3
62		*3	336	—		
64	29.4		401	35 × 14	2.4	5.0
66	18.4		470/456	30 × 16	13.6	2.4
68	22.4	3 × 1.2 (T)	596	55 × 11		
70	13.6		706	55 × 20		
72		4 × 1.0 (M)	644/583	—	1.1	1.7
74	27.2		593	60 × 17	1.8	1.1
76	42.0		425	60 × 17	6.0	1.1
78	37.1		446	60 × 17		

Exchange of sea water and take out of a part of thalli

(2 × 1.2 (T))
(3 × 1.0 (M))

Exchange of sea water and take out of a part of thalli

Take out of a part of thalli

N. P. were added
Color faded

Fig. 3. Time course of larver thalli culture comparing mechanical agitation and air bubbling flow for suspending of thalli. Straight line figures in the left column show initial representative growth rate of each lot. Broken lines in the center column and solid lines in the right column respectively show growth rate by mechanical agitation and air bubbling using 2t tanks and thin lines in both of these columns show growth rate by control tests using 2l flasks.

▲ lot 217, ◎ lot 310, ■ lot 311, ● lot 312, □ lot 316, △ lot 317, ○ lot 415

Table 7. Ratio of growth rate cultured thalli in tank to that of cultured thalli in flask, and injured cell number of thalli after 10 days culture on test by air bubbling or mechanical agitation flow of culture liquid

Mechanical agitation flow						Air bubbling flow					
Lot No.	G. R. ratio of tank to flask test	Abnormal cells				Lot No.	G. R. ratio of tank to flask test	Abnormal cells			
		Colored cells* ¹		Injured thalli				Colored cells* ¹		Injured cells	
		Int.	10 days	Init.	10 days			Init.	10 days	Init.	10 days
316	0.87	0	1	0	1	217	0.88	2	5	2	1
317	0.24* ³	0	1	1	1	310	0.58* ³	0	0	0	0
415	0.70	10	0	5	0	311	0.72	0	0	0	0
—	—	—	—	—	—	312	0.87	3	3	2	1
Average	0.79	3	0.7	2	0.7	Average	0.82	1.25	2.0	1.0	0.5

*¹ Colored cells mean celles number stained by erythrosine solution. Stained cell numbers are classified as follows; 0~5 celles: good, 5~10 celles: normal, 10<: not healthy.

*² Injured cell numbers are classified as follows; 0~2 celles: good, 2~5 celles: normal, 5<: not healthy.

*³ Except from average of G.R. ratio.

光源はタリウム水銀灯 (1.2 KW) 3 基, 高圧水銀灯 (1 KW, 0.9 KW) 4 基, 合計 7 基を適宜葉体量に応じて加減使用した。海水量 500 l, 温度 $12^{\circ}\text{C} \pm 0.1^{\circ}\text{C}$, pH (明期) 7.9, 通気量は機械攪拌の場合, 6 l/min, 気泡流では 70 l/min 及び 100 l/min を状況に応じて用いた。機械攪拌における攪拌機回転数は 75 r.p.m. である。

培養試験は機械攪拌 3 回 (ロット 316, 317, 415), 気泡流攪拌 4 回 (ロット 217, 310, 311, 312) の計 7 回行った。その生育経過を Fig. 3 に代表値と併せて図

示し, それぞれの攪拌方式の代表例としてロット 415, 217 の経過を Table 6 にまとめた。Table 6 では照度, 海水中的栄養塩濃度, 光源本数, 培養槽の状況などを葉体培養密度, 葉体寸法と対比して示したが, 照度は大略 10 Klx 以上で栄養塩濃度も所定の値にあるので, 培養条件は充分であるといえる。一方培養結果は Table 6 の代表例では, ロット 415 もロット 217 も最高濃度が 500 g/m^3 以上に達し, ロット 415 では葉令 34~52 日の間に 55 g から 571 g になり, 一方ロット 217 では

Table 8. Long-term utilization test of artificial seawater for culture of laver thalli

Lot No.	Using period of seawater	Laver's strain and age [Age (days)]	Thalli density (g/m ²)		Growth rate of thalli (% day)		Ratio of Test/Cont.	Size of thalli L(mm)×W(mm)		Remarks (Thalli's color, shape)
			Initial	Final	Test Vessel (D-201)	Control (2 l flask)		Initial	Final	
310	0-11 (11)	Fukushima (55-63)	—	—	10.5	24.5	0.43	12×5	50×10	dark brown, shrinked
214	11-21 (10)	Okayama (54-63)	27	96	16.6	(21.1)	0.79	13×5	20×11	greenish, bored 30%
114	21-33 (12)	Chiba (50-62)	16	140	27.5	22.1	1.24	18×5	25×18	rolled
311	33-55 (22)	Chiba (43-65)	17	298	16.0	23.3	0.69	—	90×20	dark green
408	55-67 (12)	Okayama (55-67)	58	130	9.7	21.7	0.46	30×9	47×18	brown, almost healthy
409	67-83 (16)	Okayama (53-68)	33	130	9.7	10.5	0.92	11×3	30×5	bored 10% pale to brown
216	83-100 (17)	Hiroshima (49-67)	12	90	11.6	24.7	0.47	6×2	10×4	brown, healthy
Total (AV)	100	—	(27)	(147)	(14.3)	(21.0)	(0.68)	—	—	—

Table 9. (1), (2) Results of growth test in laver culture using powdered shell as substrata for germlings

(1) Younger thalli stage											
Lot No.	Cult. TK No.	Initial state of thalli		Final state of thalli				Max thalli density (g/m ³)	Daily growth rate (%/day)		Remarks
		Size* ²	age	Size	age	Injury	color & Shape		Test Vessel	Control (2l flask)	
		L(mm)×W(mm)	(days)	L(mm)×W(mm)	(days)	test* ¹					
408	D-006	1.5×0.6	21	→	—	—	Black				
	D-102	→	→	→	—	—	&	318	17.9	—	contaminated by filamentous blue green algae, succeeded
	D-201	→	→	47.0×18.0	66	○	elliptic	130	8.7	—	
409	D-006	1.2×0.4	19	→	—	—	pale brown	—	6.8		
	D-102	→	→	→	—	—	&	—	14.5	28.0	shape a little abnormal succeeded
	D-201	→	→	30.0×5.0	68	○	elliptic	—	10.1		
410	D-006	1.0×0.2	23	→	—	—	greenish brown	—	12.2	22.0	
	D-201	→	...	22.0×3.0	75	×		—	12.5		shape normal, succeeded
411	D-102	1.5×0.1	20	7.0×0.8	43	×	pale brown	100	11.8	21.1	not succeeded
412	D-007	0.7×0.15	20	1.0×0.2	26	×	brown	—	—	—	not succeeded
413	D-007	0.7×0.1	20	1.7×0.2	43	—	greenish brown	—	—	—	contaminated
414	D-006	1×0.2	22	→							
	D-007	→	→	5.0×0.3	41	—	pale brown	—	20.8	18.6	contaminated
415	D-006	1.5×0.2	23	→	—	—		—	10.7		
	D-102	→	→	20.0×1.3	60	○	brown	500	15.3	18.6	succeeded at high thalli density
416	D-006	1.5×0.2	24	2.5×0.3	43	×	dark brown		5.9	6.8	
417	D-005	0.6×0.15	23	→	—		pale brown	440	13.9		
	D-102	→	→	6.5×1.1	63			570	9.7	19.4	
418	D-007	0.8×0.25	27	2.0×1.0	45	×	dark brown	120	16.6	12.2	

*¹ Symbol of injury test were as follows; ○: good (0~2 cells), ×: not healthy (<5 cells), —: not detected.*² Arrow indicates transfer of thalli from the upper culture tank to the lower one.

(2) Germling stage

Lot No.	Cult. TK No.	Culture period (days)	Initial state			Size L(mm) × W(mm)	growth ^{*1}	Remarks
			Seeding substrata	germling density (No/substratum)	germling density (No/substratum)			
419	D-501	0-27	oyster shell	4	4	0.25 × 0.12	×	contaminated by blue green algae
420	D-502	0	free living	0	0	—	×	no growth
421	D-502	0-6	free living	1	1	3 cells	×	no growth, contaminated by blue green algae
422	D-502	0-34	marble	4	4	1.2 × 0.6	×	contaminated by bacteria
423	D-502	0-44	marble	2	2	35.0 × 15.0	○	good growth
424	D-501	0-15	marble	1	1	0.5 × 0.2	×	contaminated by algae
425	D-502	0-9	marble	0	0	8 cells	×	mistiming to obtain germlings
426	D-501	0-5	marble	1	1	30 cells	×	"

*1 Symbol of growth were as follow: ○: good, ×: troubled.

Fig. 4. Time course of laver thalli culture on long-term utilization test (100 days) of artificial seawater.

葉令 54~64 日の間に 96 g から 470 g に達している。この間の日生長率を $S_n = S_0 (1+r)^{n-1}$ 式にて r を求めると、ロット 415 では 29.6%, ロット 217 では 37.4% に達する。上式の S_n は n 日目の葉体量, S_0 は初発葉体量で n は日数を示している。

他の試験例については詳細を略して生育経過のみを Fig. 3 に図示したが、この各例を通覧すると、ロット 310 が穴ぐされ病で生育が悪いのを除き、他の 6 例は機械的攪拌と気泡流攪拌のいずれもが良好な生育を示し、両者間に差は認められない。特に初発の生育速度を初発から 200~300 g/m² に達するまでの日数を横軸にした勾配として Fig. 3 の左上に図示したが、この直線の並びをみても、気泡流と機械攪拌の各区が順番に並んでおり差は認め難い。

また Fig. 3 には細線で比較試験の 2 l 培養槽での培養成績を併記しているが、この生長速度を示す勾配を各ロット毎に比べると、いずれも同様の傾斜をもっており、各ロット毎に 2 l 槽との日生長率の対比を求めると、85% 以上に達しており、培養が順調であったことを裏付けている。なお 2 l 槽では初発濃度を意識的に D-210 の濃度と変えて培養し、濃度による生育のちがいを確かめたが生長速度は変わらなかった。この事は培養技法が一方でかなり再現性に富んだ確実なものになったという印象をうける。

機械攪拌によるノリ葉体の損傷の度合については、サンプリングにより、10日後の葉体の破損箇所および、エリスロシン染色による赤染細胞数を各ロットについて調べた。結果は Table 7 に示めすとおりである。即ち、サンプリングしたノリ葉体を 200 倍の顕微鏡にて観察し、一視野あたりの個数を 10 サンプルにつき平均した

Table 10. Relations of dissolved total CO₂ with chlorinity, pH and temperate

Cl (‰)	pH	Temp. °C																(×10 ⁻⁵ mol/l)	
		0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30		
15‰	7.4	192.7	192.7	190.8	190.8	190.8	189.0	189.0	189.0	189.0	187.5	187.5	187.5	185.3	185.3	185.3	184.3		
	7.5	189.0	189.0	189.0	187.5	187.5	187.5	187.5	185.3	184.4	182.5	182.5	182.5	182.5	182.5	182.5	182.5		
	7.6	187.2	187.2	185.3	184.3	184.3	184.3	182.5	182.5	182.5	182.5	182.5	180.7	180.7	180.7	180.7	180.7		
	7.7	184.3	184.3	182.5	182.5	182.5	182.5	180.7	180.7	180.7	180.7	178.9	177.9	177.9	177.9	176.1	176.1		
	7.8	182.5	180.7	180.7	180.7	180.7	177.9	177.9	177.9	177.9	176.1	176.1	176.1	176.1	174.2	174.2	173.3		
	7.9	179.7	177.9	177.9	177.9	176.1	176.1	176.1	173.3	173.3	173.3	173.3	173.3	171.5	171.5	171.5	171.5		
	8.0	177.9	176.1	175.1	173.3	173.3	173.3	173.3	171.5	171.5	170.5	168.7	168.7	168.7	166.9	166.9	166.9		
	8.1	173.3	173.3	171.5	171.5	170.5	168.5	168.7	168.7	166.9	166.9	166.0	164.2	164.2	164.2	162.4	162.4		
	8.2	170.5	170.5	168.7	168.7	166.0	166.0	164.2	164.2	164.2	161.5	161.5	159.8	159.8	159.8	157.1	157.1		
	8.3	166.0	166.0	164.2	163.3	161.5	161.5	159.8	159.8	158.9	157.1	157.1	155.3	154.4	154.4	152.7	152.7		
	8.4	163.3	161.5	158.9	158.9	157.1	157.1	154.4	154.4	152.7	152.7	150.1	150.1	150.1	148.3	148.3	145.7		
	8.5	158.9	156.2	154.4	154.4	151.8	151.8	150.1	150.1	147.5	147.5	145.7	145.7	143.2	143.2	141.5	140.6		
17‰	7.4	216.4	216.4	216.4	214.3	214.3	214.3	214.3	212.3	212.3	211.2	211.2	211.2	209.2	209.2	209.2	209.2		
	7.5	214.3	214.3	212.3	211.2	211.2	211.2	209.2	209.2	209.2	209.2	207.1	207.1	207.1	207.1	207.1	205.0		
	7.6	211.2	211.2	209.2	209.2	209.2	209.2	207.1	207.1	207.1	205.0	205.0	204.0	204.0	204.0	202.0	202.0		
	7.7	209.2	207.1	207.1	207.1	207.1	204.0	204.0	204.0	204.0	202.0	202.0	202.0	202.0	200.0	200.0	198.9		
	7.8	206.1	204.0	204.0	204.0	202.0	202.0	202.0	202.0	198.9	198.9	198.9	196.9	196.9	196.9	196.9	194.8		
	7.9	204.0	202.0	202.0	201.0	198.9	198.9	196.9	196.9	196.9	194.8	193.9	193.9	191.9	191.9	191.9	191.9		
	8.0	198.9	198.9	196.9	196.9	195.9	193.9	193.9	193.9	191.9	191.9	188.9	188.9	188.9	188.9	186.9	186.9		
	8.1	195.9	193.9	193.9	193.9	190.9	190.9	188.9	188.9	186.9	185.9	185.9	183.9	193.9	183.0	181.0	181.0		
	8.2	190.9	188.9	188.9	186.9	185.9	183.9	183.9	183.9	181.9	181.9	181.9	178.1	178.1	176.1	176.1			
	8.3	188.0	185.9	185.0	183.0	183.0	181.0	178.1	178.1	178.1	176.1	175.2	173.2	173.2	170.4	170.4	168.4		
	8.4	183.0	180.1	180.1	178.1	175.2	175.2	173.2	172.3	170.4	170.4	168.4	167.5	165.6	165.6	163.6	162.8		
	8.5	177.2	175.2	172.3	172.3	170.4	167.5	167.5	165.7	164.7	162.8	160.8	160.0	160.0	158.0	157.2	155.3		
19‰	7.4	242.0	242.0	239.7	239.7	238.7	236.3	236.3	236.3	236.3	234.0	234.0	234.0	234.0	234.0	231.7	231.7		
	7.5	238.7	236.3	236.3	236.3	234.0	234.0	234.0	234.0	231.7	231.7	231.7	231.7	228.4	228.4	228.4	228.4		
	7.6	234.0	234.0	234.0	231.7	231.7	231.7	230.7	228.4	228.4	228.4	228.4	226.1	226.1	226.1	226.1	226.1		
	7.7	231.7	230.8	230.7	228.4	228.4	228.4	226.1	226.1	226.1	226.1	222.8	222.8	222.8	222.8	220.5	220.5		
	7.8	228.4	228.4	226.1	226.1	225.1	222.8	222.8	222.8	220.5	220.5	219.6	219.6	217.4	217.3	217.4	217.3		
	7.9	225.1	222.8	222.8	222.8	220.5	219.6	219.6	217.3	217.3	217.3	215.0	214.0	214.0	211.8	211.8	211.8		
	8.0	219.6	219.6	217.3	217.3	217.3	214.0	214.0	214.0	211.8	211.8	210.8	208.6	208.6	208.6	206.3	205.4		

8.1	216.3	214.0	214.0	214.0	214.0	210.8	210.8	210.8	210.8	205.4	205.4	205.4	203.1	203.1	202.2	200.0	200.0
8.2	210.8	210.8	208.6	207.6	207.6	207.6	207.6	207.6	207.6	205.4	205.4	205.4	203.1	203.1	202.2	200.0	193.7
8.3	207.6	204.5	204.5	202.2	201.3	199.1	196.9	196.9	196.9	193.7	193.7	193.7	190.1	190.1	188.4	187.6	185.4
8.4	201.3	199.1	198.2	196.0	193.7	192.9	190.7	190.7	190.7	187.6	185.4	185.4	184.4	180.4	180.2	179.3	177.1
8.5	192.9	192.9	189.8	189.8	187.6	184.5	184.5	184.5	182.4	181.6	179.3	176.3	176.3	174.2	173.4	171.2	171.2
7.4	265.0	264.0	264.0	264.0	261.4	261.4	261.4	261.4	258.9	258.9	258.9	256.3	256.3	255.3	255.3	255.3	255.3
7.5	261.4	261.4	258.9	258.9	258.9	258.9	258.9	258.9	256.3	255.3	255.3	252.7	252.7	252.7	252.7	252.7	252.2
7.6	258.9	256.3	256.3	255.3	255.3	252.7	252.7	252.7	252.7	250.2	250.2	249.2	249.2	246.7	246.7	246.7	246.7
7.7	252.7	252.7	252.7	252.7	250.2	249.2	249.2	249.2	246.7	246.7	246.7	244.1	244.1	243.2	243.2	243.2	243.2
7.8	249.2	249.2	249.2	246.7	246.7	246.7	246.7	246.7	243.2	243.2	243.2	240.6	240.6	239.7	239.7	237.2	237.2
7.9	246.7	246.7	243.2	243.2	243.2	240.6	239.7	239.7	237.2	237.2	237.2	233.7	233.7	233.7	231.2	231.2	231.2
8.0	243.2	239.7	239.7	239.7	237.2	236.2	236.2	236.2	233.7	233.7	233.7	230.3	230.3	227.8	227.8	226.9	224.4
8.1	236.2	236.2	233.7	233.7	233.7	230.3	230.3	230.3	227.8	221.9	224.4	224.4	221.0	221.0	221.0	218.5	217.6
8.2	232.8	230.3	229.4	226.9	226.9	223.5	223.5	223.5	221.0	221.0	217.6	217.6	215.2	214.3	211.8	211.8	208.5
8.3	226.0	223.5	223.5	220.1	220.1	217.6	214.3	214.3	211.8	211.0	208.5	208.5	206.3	206.3	205.2	201.9	201.9
8.4	220.1	217.6	215.2	214.3	211.8	211.0	208.5	208.5	205.2	205.2	202.8	199.5	199.5	197.1	196.3	193.8	193.8
8.5	210.1	210.1	207.7	204.4	204.4	201.1	198.7	197.9	195.5	195.5	192.2	189.8	189.0	186.7	185.9	183.5	183.5

21%

値である。表の下欄に判定基準を示したが、この結果から攪拌による損傷は無いと考えられる。

海水の長期使用 人工海水はノリ葉体の人工培養を行う際の原材料中もっともコストを要する。したがって長期使用は人工培養の経済性を考える時不可欠の課題である。そこでノリ葉体の培養を数ロット続けて同一海水で培養し、延日数 100 日間の連続使用試験を行った。使用槽は主培養槽 (D-201) で海水量は 3.5 m³、使用海水の基本は所定の ASP 6 須藤改変処方、栄養塩 (NaNO₃ 0.4 g/l, Na₂HPO₄·12H₂O 0.06 g/l) 及び微量要素 (PI 液 1 ml/l) を毎週一回添加することとした。実験条件は前述の攪拌試験と大略同じで、光源は 3 KW タリウム水銀灯または高圧水銀灯を用い、照度に応じて本数を増減した。海水は前述の Fig. 1 に示した循環方式を用い、冷却、沝過を施した。海水の使用経過とノリ葉体の培養成績を Table 8 に表示し、日生長率の変化を Fig. 4 に示した。Table 8 にはロット、品種、葉令、培養密度、日生長率、葉体寸法などを表示したが、最高濃度約 300 g/m³ にまで達し、また日生長率は最終試験のロット 216 においてもなお 11.6% とほぼ標準の域に達している。ただ併行試験の 2 l 円筒水槽での生育に比べると、このロットは 47% しか達しておらず、その前のロット 409 が 92% に及んでいるのに比べかなり劣っている。しかし全期間を通じて大型槽の方が低い値が多いので海水の劣化というよりは大型槽の培養管理の難しさというべきであろう。

粉体採苗 粉体採苗に関し既報⁹⁾で粉体の種類、大きさ、比重等について検討し着色貝殻末の有用性を報じた。しかし大型槽にこれを適用すると、新たな問題が発生した。即ち、雑藻による粉末担体の包み込み、穴ぐされ症⁹⁾など海水中のバクテリアによる汚染、泡立ち、随伴して生ずるノリ葉体の浮上、器壁への附着等が発生し、生育を阻害した。これらの問題については、その都度対策を講じつつ培養実験を繰返して行った。Table 9 (1), (2) に培養ロット順の結果一覧を示す。

採苗は 50 l のジャケット付 SUS 315 製円筒水槽 (底部円錐状) を用い、槽底よりの通気により攪拌した。使用粉末担体はあこや貝粉末を 0.2 g/l の割合で海水に懸濁使用した。このものは予め 150~200 mesh に篩別したものを 110°C×3 h に乾燥処理し、空冷したものである。ノリ胞子は大理石に穿孔繁殖した糸状体で充分胞子囊の形成されたものを用い、低温短日処理を行って胞子の放出が認められる大理石を粉体懸濁液中に垂下して採苗を行った。なお一部にはフリー糸状体から直接殻胞子を得ることも試みた。この場合には低温処理の開始時に粉体を処理海水に懸濁し、放出胞子の着生をはかった。ノリ葉体培養時の雑藻汚染は採苗時、糸状体基質に着生

Tabl 11. Relations of CO₂ assimilation volume (Q_{CO₂}) with thalli density and number of lamps in culture tests of laver thalli

		Test 1 (Lot 410)			Test 2 (Lot 314)	
		QCO ₂ and (Q _{CO₂} /g ^{*1})			QCO ₂ and (Q _{CO₂} /g ^{*1})	
		ml/min·m ³ (ml/min·g)			ml/min·m ³ (ml/min·g)	
		run 1	run 2	run 3	run 1	run 2
Thalli density (g/m ³)		518	255	144	39	65
No of lamps (3 KW)	1	5.9 (0.01)	14.7 (0.06)	—	—	1.6 (0.03)
	2	16.9 (0.03)	19.1 (0.07)	—	2.9 (0.07)	16.0 (0.25)
	3	27.6 (0.05)	33.8 (0.13)	—	12.0 (0.31)	34.6 (0.53)
	4	33.2 (0.06)	44.6 (0.17)	31.8 (0.28)	20.9 (0.54)	34.6 (0.53)
	5	47.6 (0.09)	57.2 (0.22)	32.5 (0.29)	20.9 (0.54)	33.0 (0.51)
Age (days)		59	61	62	30	33

*1 g means dry gram of laver thalli.

していたものに由来するものが多く、生育初期に大きな影響を及ぼすので、糸状体基質は滅菌海水で充分に洗滌し、更に採苗後の粉体は胞子液から分別し、新しい海水と共に家庭用ミキサーで1~2分強く攪拌し、上澄を数回置換洗滌して雑藻の除去をはかった。なお既報¹⁰⁾の雑藻駆除剤の利用はこの時点では試みていない。

バクテリアによる汚染の予防にはペニシリン 200 ppm, ストレプトマイシン 50 ppm を採苗後の胞子液に加え16~20時間放置し、換水することで穴あき病まで含めてかなり予防できた。しかしながら殻胞子の成熟か不十分なものや、過熟なもの、あるいは小粒のものなど、元来弱々しい感じの殻胞子を用いた場合には、これらの処置を施しても生育は不充分であって、これらの胞子の活性にはより本質的な要因があるように思われる。

培養温度は17°C±1°C 照度(平均)15 Klx, 通気量50 l/min, pH(明期)8.0±0.5, (暗期)7.6で明期は炭酸ガスを通気に添加して調節し、夜間は無添加とした。消泡に数種の市販消泡剤を試用したが、微細気泡には無効で逆に槽の汚れを助長し、葉体の器壁への附着を促進するなど不利な点が多く、むしろ海水を交換することで消泡剤の使用を回避した。Table 9ではロット別に槽、葉令、葉体寸法、葉体色調、培養密度、日生長率、傷害の有無などを表示した。ロット409から418までは50 l槽で採苗したものの葉令20日以降の培養例で経過にしたがい数基の槽を用いた。この中で特にロット415, 417は最大培養密度が500 g/m³を超え、日生長率は全期を通算すると10%以上で順調な生育を示し、成功例と云える。ロット419からロット426は50 l槽での採苗直後からの経過を示したもので、ロット420, 421はフリー糸状体からの採苗、ロット419はカキ殻糸状体、その他は大理石糸状体からの採苗である。8例の中

で特にロット423が良好な生育を示し、44日間で葉長35 mmにまで生育した。以上の粉体採苗の結果は、大型槽における粉体基質の利用には小型槽と異なる問題があることを示しているが、なおいくつかの成功例があるので、環境整備や胞子の良質化をはかれば、安定した成果が期待できると考える。

炭酸ガスの摂取速度 培養槽の管理が正常に行われ、培養が順調に進むと、管理上の指標、即ち培養状態値を応用してノリ葉体の生理や生態を検討し、或いは生育状態の把握に資することができる。ここではpHの変化を指標にノリ葉体の単位時間当りの炭酸ガス摂取、Q_{CO₂}を測定し、光量との関係、日周変化、葉令、光質の影響などについて検討した。

海水中の溶存全炭酸(T_{CO₂})はHarveyの計算に基づいて算定すると塩素イオン濃度(Cl‰), 温度(°C), pHによってTable 10の様に一定の値をとる。¹⁷⁾したがって、逆に塩素イオン濃度, 温度, pHを知れば全炭酸量を求めることが出来、pHの変化を追跡することにより、全炭酸の変化を推定することができる。全炭酸の変化ΔT_{CO₂}は明期, 暗期それぞれに次式になる。

(明期)

$$\Delta T_{CO_2} = [(溶解) - (放散) + (呼吸) - (光合成)]_{CO_2}$$

(暗期)

$$\Delta T_{CO_2} = [溶解 - (放散) + (呼吸)]_{CO_2}$$

そこで単位時間当りの光合成による炭酸ガスの消費速度Q_{CO₂}は次式で求める。

$$(光合成)_{CO_2} / \Delta T = \Delta T_{CO_2} (明期) - \Delta T_{CO_2} (暗期) / \Delta t$$

ここでΔtは時間である。同様に呼吸による炭酸ガス放出量も暗期の一定時間におけるpH変化より求めることができる。

具体的には培養槽中の現存葉体量を実測しておき、海水pHを予め7.8~7.5になるまで炭酸ガスを通気に混

Fig. 5. Daily changes of CO_2 assimilation and aspiration of laver thalli during light and dark period.

○—○: CO_2 absorption by assimilation
 x---x: CO_2 discharge by aspiration

じて送気し、ついで炭酸ガスの供給を停止する。すると海水 pH は葉体の炭酸ガス消費に応じて上昇するので pH が 8.0 に達する時間を分単位で測定し、Table 10 より炭酸ガスの摂取量を間接的に求めるもので、これを培養葉体量及び変化時間で除することにより単位葉体重当りの炭酸ガス摂取速度を測定するわけである。但し葉体の分散を均一にするため通気は継続せねばならず、通気に伴う炭酸ガスの放散は生ずるが、予め無葉体での値を測定して補正することにより、この項の影響を除いた。以下に測定項目別に結果を示す。

6)-(1) 光量と Q_{CO_2} の関係、ノリ葉体の光合成時、光量が飽和点以上であれば、過剰の光は無効であり、飽和点までは光量の増加に合せて Q_{CO_2} は増大すると考えられる。Table 11 に示したロット 314 とロット 410 の 2 回の試験結果は主培養槽 (C-201) を用いて水量 2 m^3 の中に 3 KW タリウム水銀灯を 1 本から 5 本まで挿入、点灯し Q_{CO_2} を測定したもので、ロット 314 は比較的低い培養密度の例であり、ロット 410 は高い培養密度の例である。前者は 3 灯以上で Q_{CO_2} はほぼ一定となり、光量が飽和点を超過していると思われるが後者では逆に当初 500 g/m^3 以上の高密度培養から出発し、順次培養密度を下げた例で、はじめは光源をふやす毎に Q_{CO_2} は増大しており、光量飽和に到達していない。しかし培養密度を 144 g/m^3 まで下げると Q_{CO_2} は光源が 4, 5 本間で一定となり光飽和点に達したことがわかる。ロット 314 とロット 410 の飽和点入力電力を単位葉体

Fig. 6. Relation between Q_{CO_2} and lighting conditions in laver thalli culture.

○—○ Power input 40 w/g (day), 7 lamps (7.3 kw)
 ○---○ Power input 20 w/g (day), 3 lamps (3.6 kw)

量で比較すると、前者は $3 \text{ KW} \times 2 \text{ m}^3 / 114 \text{ g/m}^3 = 60 \text{ W/g}$ であり、後者は $3 \text{ KW} \times 3/2 \text{ m}^3 / 65 \text{ g/m}^3 = 70 \text{ W/g}$ でほぼ一致している。

6)-(2) 明期中の光合成能の劣化と暗期における光合

Table 12. Data of CO₂ assimilation volume (Q_{CO₂}), thalli density, lighting electric power input and age of thalli in laver culture in tank

Lot No.	Vessel No.	Thalli age	Unit lighting power input	Thalli density	CO ₂ assimilation volume (Q _{CO₂})	Ratio of Q _{CO₂} to environmental factor		Unit power input to thalli density
			①	②	③	③/①	③/①×②	
		days	KW/m ³	g (dry)/m ³	ml/min M ³	ml/KW min	ml/g (dry)	W/g (dry)
114	102	43	2.0	66	1350	675	10.2	30
	—	44	2.0	68	1566	783	11.5	29
	201	54	1.71	31	1375	804	25.9	55
	—	60	1.71	131	2220	1298	9.9	13
214	201	57	1.71	36	1406	822	22.7	48
	—	58	1.71	44	1371	802	18.2	39
	—	60	1.71	59	1676	980	16.2	29
216	201	50	1.71	12	1248	730	60.8	143
	—	54	1.71	26	1130	661	25.4	66
	—	57	1.71	38	575	336	8.7	45
	—	61	3.43	50	1369	399	7.9	69
	—	64	3.43	72	1111	324	4.5	48
217	102	43	2.0	25	1986	993	39.7	81
	—	46	2.0	44	3624	1812	41.0	45
	—	54	4.8	102	3773	786	7.7	47
	—	58	8.4	193	8820	1050	5.4	43
	—	65	14.6	471	9651	661	1.4	31
	—	66	14.6	457	7110	487	1.1	32
	—	67	14.6	550	9227	632	1.2	27
	—	68	14.6	596	11811	809	1.4	25
311	201	35	2.0	61	1560	780	12.8	33
	201	49	0.86	39	1015	1180	29.9	22
	—	51	0.86	55	1058	1230	22.4	16
	—	56	1.71	120	2071	1211	10.1	14
	—	58	2.57	180	2092	814	4.5	14
	—	62	2.57	289	1709	665	2.3	9
	—	63	2.57	289	1627	633	2.2	9
312	102	42	3.6	84	1375	382	4.5	43
	—	44	3.6	150	1793	498	3.3	24
	—	46	5.6	172	2363	422	2.5	33
	..	48	5.6	257	2162	386	1.5	22
312	102	51	9.2	334	2803	292	0.9	28
	—	55	9.2	480	3367	366	0.8	19
	—	57	9.2	518	2410	262	0.5	18
	—	62	14.0	590	2926	209	0.4	24
408	102	40	2.0	44	1444	722	16.4	45
	—	41	2.0	54	1500	750	13.9	37
	—	42	2.0	66	2490	1245	18.9	30
	—	47	2.0	155	1548	774	5.0	13
	—	48	2.0	180	2226	1113	6.2	11
	—	52	2.0	321	1854	927	2.9	6
	201	60	1.71	77	946	553	7.2	22
	—	63	1.71	93	994	581	6.2	18
	—	66	1.71	130	1125	658	5.1	13

Table 12. (Continued)

Lot No.	Vessel No.	Thalli age	Unit lighting power input ①	Thalli density ②	CO ₂ assimilation volume (Q _{CO₂}) ③	Ratio of Q _{CO₂} to environmental factor		Unit power input to thalli density
—	—	days	KW/m ³	g (dry)/m ³	ml/min M ³	③/①	③/①×②	W/g (dry)
409	102	46	3.6	112	2063	573	5.1	32
	—	49	5.6	171	2548	455	2.7	33
	—	52	5.6	257	2391	427	1.7	22
	201	54	1.71	32	790	462	14.4	53
	—	56	1.71	43	790	462	10.7	40
	—	58	1.71	52	778	455	8.7	33
	—	60	1.71	67	706	413	6.2	26
	—	63	2.57	86	1213	472	5.5	30
	—	67	2.57	118	1470	572	4.8	22
410	201	39	1.71	27	766	448	16.6	63
	—	53	3.43	198	4219	1230	6.2	17
	—	55	3.43	235	1897	553	2.4	15
	—	56	3.43	255	3094	902	3.5	13
	—	63	4.29	418	3449	804	1.9	10
411	102	23	2.4	24	900	375	15.6	100
	—	26	2.4	36	660	275	7.6	67
	—	30	2.4	49	1716	715	15.0	49

は 5.0 KW/m³ 以下と比べて五分の一以下となる。更に葉体培養密度と光源電力入力をパラメーターにして Q_{CO₂} を整理してみると、Table 13 (2) の様になり、表中の w/g の値が 60 以上は 6-(1) 項の結果より光飽和域と考え、20 以下は 6-(2) 項の結果より過度に光量不足であるとする、表中太枠内に至適光量域ということを用いてロット 310 の、Fig. 6 では前培養槽 (D-102) を用いてロット 217 の Q_{CO₂} の経過を実測した。Fig. 5 では 31 時間連続明期、40 時間連続暗期とした時の Q_{CO₂} の変化で、一方、暗期中は通気ガスに炭酸ガスを添加していないので、pH の低下は呼吸による炭酸ガスの増加に起因すると考えられ、Fig. 5 の下部には呼吸による溶存 CO₂ の増加傾向も併示した。図より明期を長時間連続すると Q_{CO₂} は極度に低下し、点灯直後の最大値 49.5 ml/min・m³ に比べると 38% の 19 ml/min・m³ にまで低下している。このテストでは液量 2 m³、葉体培養密度 170 g/(dry)/m³、光源は 3 KW タリウム水銀 2 灯、高圧水銀灯 1 灯、計 3 灯、9 KW を用いており、温度 12°C、通気量は 14 m³/h である。したがって単位葉体量当りの光源電力入力は 26 W/g (dry) と算出される。又暗期に入ると Q_{CO₂} は急速に回復に転じ、10 時間後には全回復量の 50% を超え、30 時間後にはほぼ一定値に達し安定する。この暗期での Q_{CO₂} は暗期中の測定時刻毎に点灯し、生ずる pH 変化の速度より求めたもので数値の絶対値を明期と比較するには、やや難があ

るが、傾向は充分うかがうことができる。

一方、Fig. 6 では光源数を 7 灯 (タリウム水銀灯 1.2 KW×3, 高圧水銀灯 1 KW×1, 0.9 KW×3, 計 7.3 KW), 3 灯 (タリウム水銀灯 1.2 KW×3, 計 3.6 KW) の 2 水準にとって光量による影響を調べたもので、培養条件は温度 12°C、液量 0.3 m³、通気 14 m³/h、葉体培養密度 600 g/m³、である。単位葉体重当りの光源電力入力は 7 灯の場合、40 W/g (dry)、3 灯の場合、20 W/g (dry) と算出され、Table 11 と対比すると、光飽和にはいずれも未達な条件下の光量であるが、Fig. 6 では灯数によって Q_{CO₂} の経時的変化は異っており、7 灯の例では Q_{CO₂} の時間による低下が認められるが、3 灯では生じていない。又 Q_{CO₂} の絶対値は 7 灯の場合には常に 3 灯の場合よりも高く、点灯直後には 2 倍にも達している。この事は 3 灯では極度に光量が不足で、経時的に光合成能が低下しても、なお光量不足を解消できない事を物語っており、7 灯では Fig. 5 と同じく経時的な光合成能の低下傾向を示したものと解される。

6)-(3) 葉令、培養密度などの影響、Table 12 に Q_{CO₂} を培養経過に応じて経時的に測定した 10 ロットのデータをまとめて示した。この表からデータを葉令別、光源電力入力別に整理すると Table 13 (1) の様になる。即ち葉令では 50~54 日のあたりに Q_{CO₂} の最大があり、加令により急激に低下している。一方光源電力入力では 5.0 KW/m³ 以上では急減し Q_{CO₂} の乾重量当り

Table 13. Relationships between CO₂ assimilation volume (Q_{CO₂}) and enviromental factor(1) Effect of thalli age and lighting power input on Q_{CO₂}.

		Q _{CO₂} /KW	Q _{CO₂} /g(dry)	w/g(dry)			Q _{CO₂} /KW	Q _{CO₂} /g(dry)	w/g(dry)	
		<50	731	13.3			<2.0	741	17.1	42.3
Thalli age (day)	50~54	708	16.8	36	Light power input (KW/m ³)	2.0~4.9	743	9.8	33.5	
	55~59		8.0			<5.0	497	1.7	27.5	
	<60		619			4.7	25.4			

(2) Relation between thalli density and lighting power input on Q_{CO₂} values.

		Thalli density [g(dry)/m ³]						
			<100	100~199	200~299	400~399	400~499	500~599
Lighting power input (KW/m ³)	< 2.0	Q _{CO₂} /KW Q _{CO₂} /g (dry) W/g*1	682 (10916/16) 18.76 (300.2/16) <20	978 (1956/2) 8.37 (25.1/3) <13	— — <8.0	— — <5.7	— — <4.4	— — <3.6
	2.0 — 4.9	Q _{CO₂} /KW Q _{CO₂} /g(dry) W/g	713 15.0 (225/15) <35	841 5.35 (42.8/8) 23	688 2.6 (10.4/4) 14	927 2.9 (2.9/1) 10	804 1.9 (1.9/1) 7.8	— — 6.3
	5.0 — 9.9	Q _{CO₂} /KW Q _{CO₂} /g(dry) W/g	— — <75	642 (1920/3) 3.53 (10.6/3) 50	407 (813/2) 1.6 (3.2/2) 30	292 (292/1) 0.9 (0.9/1) 21	366 (366/1) 0.8 (0.8/1) 16.7	— — 13.6
	<10.0	Q _{CO₂} /KW Q _{CO₂} /g(dry) W/g	— — <100	— — 66	— — 40	— — 29	574 (1148/2) 1.25 (2.25/2) 22	478 (1912/4) 0.88 (3.5/4) 18

*1 Unit power input (W) to thalli density [g(dry)], number of w & grams were selected of middle number of own range.

□ The area bounded by thick line means optimum light range for laver culture derived from the results referred to in section 6(1) and (2) of the report.

Table 14. Comparison of CO₂ assimilation volume (Q_{CO₂}) between thallium mercury lamp and high pressure mercury lamp used in the culture of laver thalli in tank

Date day/Month	Lamp	No. of Lamp	Lamp Input KW/Vessel	Q _{CO₂} ml/min·m ³	Q _{CO₂} /KW ml/min·M ³ ·KW	Ratio of Q _{CO₂} /KW Q _{CO₂} (Th Hg) Q _{CO₂} (Hi Hg)
14/July	Thallium Hg	2	2.4	87.0	36.3	1.067
	Hi-P-Hg	2	1.8	62.2	34.0	
24/July	Thallium Hg	3	3.6	71.1	19.0	1.258
	Hi-P-Hg	3	2.7	40.7	15.1	

Table 15. Comparison of chemical components on elementary analysis in laver thalli between artificial thalli cultured in tanks and thalli cultured in the sea

		Elements (%)					
		H	C	N	N	P	Ash
Average of 5 lot samples		7.20	39.97	7.81	4.0	0.52	12.0
thalli cultured in TK (Lot 217)	54 days	6.97	39.70	7.66	3.3	0.52	10.8
	58 days	7.27	40.08	6.94	4.2	0.47	11.3
	61 days	7.33	39.89	7.22	3.7	0.45	10.0
	65 days	7.42	38.84	6.35	3.4	0.34	10.7
	68 days	7.27	39.63	6.19	2.8	0.41	11.7
Average		7.25	39.62	6.87	3.5	0.44	10.9
Average of 5 thalli cultured in* the sea		6.47	40.45	7.00	3.0	0.77	9.35

* Samples which were obtained from 5 famous laver shops (Yamamoto, Yamamotoyama, Morihan, Yamagataya & Mitsukoshi) were mixed for standarization of samples.

成能の回復及び呼吸量，明期における光合成能は時間と共に変動することが予想される。また暗期にその回復が成されるか否かも興味あるテーマである。そこで長時間ノリ葉体を連続照明下におき光合成能がどう変化するか暗期にどう回復するかを Q_{CO₂} を測定し検討した。Fig. 5, Fig. 6 はその結果で Fig. 5 では主培養槽 (D-211) になる。この範囲内のデーターを範囲外のものと比較してみると，Q_{CO₂}/KW はデーター間のバラツキが大きく検討対象とはなり得ないが Q_{CO₂}/g (dry) は明らかに範囲内の数値がすぐれている。ただ培養密度が 200 (dry) g を超えると急激に炭酸ガス摂取速度は低下しており，光量をふやしてもその回復はかなり困難であることがわかる。このために w/g の値が至適であっても Q_{CO₂} は低い値に止まっており，Table 13 (1) で葉令の影響が 55 日を境に急激に表われている事より充分考慮すべき要因と思われる。

6-(4) 光源の種類タリウム水銀灯と高圧水銀灯を用いた場合の Q_{CO₂} のちがいを 2 灯，3 灯の場合に就いてそれぞれ比較してみた。Table 14 はその結果である。それぞれの電球出力が異っているので単位電力当りに揃えて比較したが，タリウム水銀灯の方が，Q_{CO₂} の値が高

く，光合成が大であると推察された。

培養葉体の成分分析 人工培養したノリ葉体の元素分析の結果を Table 15 に示した。即ち人工培養したロット 219, 220, 221, 312, 317 の 5 試料の平均値とロット 217 について葉令 54 日から 68 日までの経日的変化，更に比較のために，市販品 5 社（山本海苔店，山本山，守半，山形屋，三越）の特上品を店頭にて求め，均一混合して試料とした。分析は柳本製作所製の CHN コーダー (MT-1 型) を用いた。表より人工培養葉体の元素分析値は市販品と大略一致するが，窒素，水素がやや高く，燐が低い傾向が認められた。また葉令によって元素組成には変動が認められ，特に窒素は若令期に高く，成熟期には低下する傾向が明らかである。

考 察

大型槽を用いたノリ人工培養の研究目的は緒言でも述べた通り，第一にノリ人工培養の生産性の追究にあり，産業規模容量で培養試験を行い，工学面での問題を解決し，スケールアップを達成すると共に経済的評価を明確にすることにあり，第二にはこれらの実験を通じてノリの生態を研究することにある。

今回の試験結果から, その生産性を考察するには Table 1 の結果より判断することになる。しかし, この中には多くの失敗例や挑戦例も含まれており, 単純に全体の平均を代表値とすることはできない。むしろ結果の項でも述べたが好成績に注目し, 可能な限界として論ずべきであろう。例えば, 葉体培養密度は最大 $600 \text{ g (dry)}/\text{m}^2$, 単位液量当りノリ生産力は $60.3 \text{ g (dry)}/\text{m}^2 \cdot \text{day}$, 光源消費電力は ミニマム $0.80 \text{ KWH}/\text{g (dry)}$ で充分であり, 日生長率は最大 $30\%/ \text{day}$ に達することになる。勿論この中にも相互に矛盾する数字があるので吟味が必要であるが, 一応この数字を用いて変動費コストを試算してみる。第一に光源消費電力量から, 所要電力費を算出してみよう。電力代を昭和 61 年現在の日本国内の工業用電力 (特高契約の従量電力代, $18 \text{ 円}/\text{KWH}$) とし, ノリ製品 1 枚当りの重量 $2.3 \text{ g}/\text{枚}$ とすると, その所要光源電力費は $33.1 \text{ 円}/\text{枚}$ となる。更に冷却用, 輸送用等の動力を加算すると, 総電力コストを求め得るが, 冷却, 輸送は立地条件によって負荷が異なるので一義的に決めることは出来ない。実験結果からすると, かなりの負担と推定でき, 一方ノリ製品の市場価格は最上級品でも $30 \text{ 円}/\text{枚}$ 程度であるから, 企業的には採算はとれない事になる。ただ電力代は国によって価格が著しく異なり, カナダでは日本の半分以下であるから, この様な国では採算はとれる事になる。

変動費としては電力に次いで海水材料費, 殻胞子生産費などが必要であるが, 前者は今回の試験で 100 日間の長期使用に耐えることがわかり, 且つ天然海水の利用も既報¹¹⁾ のように可能であるので問題はなく, 後者は糸状体を再利用できるので量的に僅かで良いこともあって, 影響は無視できる。

固定費としては設備費, 労務費が挙げられる。設備では槽類が大きな比重を有するが, コンクリート製にし, 暗槽を併置するなどの工夫をし, 耐用年数を長くする等でコストに占める割合を抑制することができる。

むしろ光源と附属機器が問題で, 今回の試験でも強光阻害現象が認められたが, 光源出力をこれ以上大きくすることは培養上問題がある。一方多数の光源を槽中に設けるには, 配線が複雑となり, 安定器の数が増大し, 特にこれらと光源との接続部は耐海水性の絶縁を要求されるので細心の注意と, 高価な器具を用いねばならない。更に個々の光源が寿命を有するので, 更新, 点検が随時生ずるので作業上も煩雑で, これら全般を含めて, 光源には意外に大きな投資を必要とする。光源に関しては全く新しい, 例えば面光源のようなシステムの開発が望まれる。

培養管理の人員は多くを要しないが, ノリ葉体が薄葉であるので, 機械化, 省力化は困難である。特に採苗,

幼芽の回収, 海水交換などは人力に頼らざるを得ず, またノリの生育状況の判定は専ら顕微鏡観察によることが多いので, 藻類や共存微生物に明るく, しかも電気をはじめエンジニアリングに明るい人材が求められ, 質的に高い広い常識をもった技術者が必要で, いわゆるバイオエンジニアの先駆とも云うべき人が必要であった。

以上ノリ人工培養の企業性について概観したが, 今回の試験ではまだ技術的に不備の点が多く単に可能性を探るに止まった。即ち, 企業化するためには技術的に再現性が確認され, 保証された成績に基いて経済評価がなされるべきであるが, 我々の成果はそれに遠く及ばなかった。ただ得られた製品の品質は専門家の評価も良く, 最近のノリ養殖が量的には充分需要をまかなっているが, 高品質のものが少ないといわれるので, 高品質のノリを作る技術として応用する道があるかもしれない。

ノリ製品の品質について野田¹²⁾ は製品中の窒素, 燐含量を分析し, 上級品, 下級品間に有意差を認めている。業界の上, 下級の判定は官能によるもので, 必ずしも科学的ではなく, 価格も相場によって動くので絶対的標準とは云えないが, 傾向として野田の解析は正しいものと思われ, これによると全窒素は $8 \sim 55\%$, 全燐は $0.8 \sim 0.3\%$ の範囲で含量が高い程良質のものが多いという。¹²⁾ 今回の培養葉体の分析結果を Table 15 で通覧すると, 5 ロットの平均では全窒素は 7.81% , 全燐 0.52% と高く, 葉令別分析でも日令が 60 日を越え, いわゆる成熟するまでは全窒素, 全燐ともに高く, ノリ養殖においても一番摘みに良質のものが多い事と一致している。

Table 1 にノリ葉体増重量 (ΔW) と培養液中の全窒素, 全燐の消費量 ($\Delta N, \Delta P$) 及びこれらの比, $\Delta N/\Delta W, \Delta P/\Delta W$ を示したが, $\Delta N/\Delta W, \Delta P/\Delta W$ の全ロット平均はそれぞれ $9.54, 1.48\%$ となっている。ノリ葉体の化学分析による全窒素, 全燐含量とこれらの値を対比すると, 全窒素は $7.81/9.54=0.82$, 全燐は同様に 0.35 となる。即ち, 培養液中の窒素消費量の 85% が葉体中に存したことになる, 逆に燐は 35% しか残っていない事となる。この事実は窒素が硝酸塩で与えられており, 比較的微生物が利用し難いのに比し, 燐は第三燐酸塩となり不溶化することなど, 両栄養塩の性質上の差異に基くものと考えられるが, 培養技法上は燐酸塩の補強が必要かもしれない。

次にノリ葉体の生態について検討する。ノリ養殖では, しばしば柵数の過大による密植を不作要因とし, 減柵を指導する機関も少なくない。しかしその根拠は多くの場合, 各漁場の過去の張込網実績と年毎の気象, 海況のマクロ的資料に基き, 疫学的判断をしているにすぎない。¹⁸⁾ 本質的にノリ葉体がどれ程の培養密度で成長するか, 養殖場での至適張込枚数がどの位かは標準的な条

件下の培養実験結果とノリ網周辺の微環境調査による物質交換能の算定から求められるべきである。人工培養実験は正に標準的な条件下の培養であって、今回の試験結果、即ち Table 1 にまとめた実験例からすると培養密度の最大はロット 304 の 640 g/m^3 、日生長率 3.9%、光源消費電力 9 KW/m^3 である。この値を正常としてノリ漁場での問題を考察してみよう。

養殖網は $10\text{間} \times 5 \text{ 尺}$ (網目 5 寸) で網糸長は 360 m に相当する。網面積を単純に $18 \text{ m} \times 27 \text{ m}^2$ とし、網の上下各 5 cm の幅にノリ葉体が生育するとすると生育容積は 2.7 m^3 となる。網糸長に直径 10 cm の円を考えて、これから生育容積を算定すると、 2.83 m^3 となり、この両者はほぼ一致している。養殖網 1 枚からの収穫は一回摘みで約 400 枚、最大 1000 枚といわれる。ノリ製品の乾燥重量を 2.3 g とし、収穫量の 2 倍が網に着生していたと仮定すると、着生量は 1840 g (dry) 、又は最大で 4600 g (dry) となる。上記生育容積で除して培養密度を求めると、 681 g (dry)/m^3 、最大で 1700 g (dry)/m^3 となる。この値は Table 1 で今回試験した培養密度の最高が 640 g (dry)/m^3 であって、特定の日では 700 g (dry)/m^3 を超えた事と大略一致している。

一方ノリ網の受光量は水中照度計を用いた実測によると、⁹⁾ 冬期 (12 月) 晴天条件で養殖網表面で $40 \sim 50 \text{ Klx}$ (7 時間/日)、曇又は雨天条件では、この 1 割となる。したがって、ノリ網全体では網面積を乗じて $7560 \text{ Klm} \cdot \text{h/day}$ (晴天) となる。Table 1 のロット 304 の受光量は高圧水銀灯の発光効率を 50 lm/W とすると、 $3600 \text{ Klm} \cdot \text{h/day}$ となり、前記ノリ網受光量の約半分となる。ノリ網では曇又は雨天を考慮せねばならないので、総受光量は大略等しいと考えられる。即ち微環境要因の中で培養密度と受光量に関しては今回の人工培養実験の値と天然海面での養殖条件はほぼ一致しており、密植要因とはなり得ない。また栄養塩すなわち、全窒素、全リンの供給能を検討してみると、筆者らが行った有明海、東京湾の海況調査でそれぞれの養殖海面での全窒素、全リンの最大値は、有明海が $\text{NH}_4\text{-N}$ と $\text{NO}_3\text{-N}$ を合せて 3.36 mg/l 、 $\text{PO}_4\text{-P}$ 0.08 mg/l 、が東京湾では $\text{NH}_4\text{-N}$ と $\text{NO}_3\text{-N}$ を合せて 0.50 mg/l 、 $\text{PO}_4\text{-P}$ が 0.09 mg/l であった。¹⁴⁾¹⁵⁾ 又養殖海面での海水の移動は専ら潮汐流に依存するが、有明海では平均 20 cm/sec 、東京湾では 5 cm/sec 、で干満潮時は当然一時停滞し、漲落潮時には早くなった。これらの数字から単純に網周辺の海水が層流でそのまま移動するとして、単位時間当りの全窒素、全リンの供給能を推算すると、網の長手に直交する流れと平行する流れで交換流量が異なるが、通常は潮汐流に平行に張網するので、有明海では全窒素は 38.8 g/h 、全リンは 8.6 g/h 、東京湾では全窒素 13.5 g/h 、全リンは 2.4 g/h と

概算される。Table 1 の全窒素、全リンの消費量は $\Delta \text{N max } 31 \text{ g/m}^3$ 、 $\Delta \text{P max } 3.3 \text{ g/m}^3$ で人工海中の全窒素は $\text{NO}_3\text{-N}$ で 55 g/m^3 、全リンは $\text{PO}_4\text{-P}$ で 7 g/m^3 である (Provasoli の ASP 6 を基本とし、NP 液を 5 ml/l 添加とする) から、消費率は全窒素は 56%、全リンは 47% に達しており、養殖場で網 1 枚当り 1800 g (dry) の (最大 4600 g (dry)) ノリ葉体が存在したとして日生長率最大 30%/day を仮定したとしても、全窒素、全リンの必要量は 43.2 g/day 、 4.3 g/day (葉体中の全窒素を 8%、全リンを 0.8% と仮定) に過ぎず、上記消費率を乗じても供給必須量は全窒素 77.1 g/day 、全リン 9.2 g/day であって、上記供給能は有明海が全窒素で 12 倍、全リンで 22 倍、東京湾では全窒素で 4 倍強、全リンで 6 倍強に相当する。勿論この概算は干出時間など無いものとして単純に計算したが実状は 1 日 2 回の干出時間が生ずる筈で、この時間帯は当然栄養塩のとりこみはないが、いずれにしても、栄養塩供給が不足し、密植を招来したとは云い難い。したがって人工培養において必須とされた培養諸条件について天然海域での養殖で密植は生じておらず、その他の不作業要因が検討されるべきで、例えば微生物、微細藻の問題などが考えられる。ただ上記検討はあくまで、平均的な流速を考えた計算であって、小潮時は更に潮汐流は小さくなるので、この様な条件では上記栄養塩供給は特に東京湾では危険なレベルに落ちる可能性があり、微環境調査の結果と符合する点である。

今回の試験の中で pH 変化による Q_{CO_2} の測定はノリ葉体の光合成の軌跡を追うことができ、高密度培養におけるノリの生態を調べることができ興味深い。大房らはノリ葉体の光合成能の日周変化を打抜葉体を用いて、生成する酸素を指標に測定し、光合成が明期の中間で高いことを報じている。¹⁶⁾ 今回の試験では 40 時間の連続照明を与えると、光合成能は時間と共に急激に低下し、暗期に回復するという結果を得たが、この傾向は大房らの報告が測定間隔が 6 時間と長いことため実測し得なかった生理現象を明らかにしたと言えよう。また光合成量と光量との関係についても、光源本数を変えることにより、明確となり、特に面白いのは、光飽和に達する光量が、経時的に低減していくという事実で、このことは上述の傾向からも推測される所であるが、逆に瞬間光が光合成にはもっとも有利だという結論にもなる。極論すると日周性よりも照射方法によって光合成能が変わるとも云えよう。

最後に微生物、微細藻類の問題に触れる。人工培養でもっとも難渋したのは混在する微生物及び微細藻類に対する対策で、極言すればこの対策が不十分であったため今回の試験は再現性に乏しいデーターしか採り得なかったと言えよう。しかしながらノリ葉体を無菌的に培養する技術はいくつかの試みがあるにもかかわらず成功して

おらず、大型槽でこれを試みるのは技術的に無理であると判断された上に、設備的にも加熱殺菌を行うには耐海水性素材に限界があるので、或程度の困難は予想しつつも踏切らざるを得ない選択であった。

混在する微生物は好気性桿菌が常に培養液中には認められ、殊に気泡攪拌槽では液表面に形成される泡沫層中に非常に多数のバクテリアを顕微鏡下に認めることができた。またすでに寺本⁸⁾が報じているように浮遊培養に移してから数日以内に緑斑状に葉縁部が崩れる穴ぐされ症状を呈することが多く、この症状は一旦発生すると回復させることは非常に困難であった。即ち病害はペニシリンGの投与で抑制できるが、罹病葉体は病勢の進行が収まっても罹病部を中心に変形歪曲し、生長と共に奇型化することが多かった。したがってペニシリンGの投与はあくまでも予防的にしか有効ではなかった。病原菌としては *Micrococcus* sp. や *Pseudomonas* sp. が単離され、いずれも人工感染を起させ得るので、この病害は単一の菌によるものではないのではないかと推測される。いずれにせよこの病害は海水を泡立たせ、症状の甚しい時には液面に数 cm の泡沫層を生ぜしめ、これが病巣となつて、ノリ葉体をこの中に捕捉することによって、更に病勢を助長する結果となつた。

一方微細藻類では、珪藻の *Melosira* sp. や *Synedra* sp. が常に認められた。研究所の立地が、海岸から 50 km 以上も離れた内陸に属するので、好塩性の藻類の混入は少いと期待していたが、案に相違して多くの雑藻が繁殖した。おそらく殻胞子を放出させる基質糸状体の培養時に附随して混入し、糸状体培養槽内の常在するようになったものであろう。上述の珪藻類は比較的ノリ葉体への着生は軽度で家庭用ミキサーで軽く数秒間攪拌し、ガーゼで濾過、洗條をくりかえすことでかなり除去できた。むしろ分別に困難であったのは藍藻類で *Lyngbia* sp. *Oscillatoria* sp. は糸状に伸長し、ノリ葉体表面にからみ合つて厚く被覆するので、除去はほとんど不可能であった。殊にノリ葉体が何等かの要因でやや虚弱になると、これらの藻類の繁茂は顕著となり、それがノリの不健全化を助長するといった悪循環を形成する傾向があり、加速度的に培養成績を劣化せしめた。

珪藻の防除には脱イオン水の使用と酸化ゲルマニウムの応用が有効で、かなり抑制ができたが、藍藻についてはパラコートが或程度有効ではあったが、決定的とはいえず、常に悩まされた相手である。

以上、ノリ葉体の人工培養について総合的に大型化を検討してきた。装置の、生態的、生理的種々の困難はあるものの一応培養は成功し、成果は企業化にはまだ難点を伴うものの装置としてドラフト付気泡攪拌方式を確立し、光源として水銀灯、特にタリウム水銀灯を選択し、

最大 300 Klx の照度下で順調な生育を確認した。また人工海水の 100 関に及ぶ長期使用に成功し、粉体採苗による種苗供給も充分可能性を認め得たし、得られた製品の品質についても市場最上級品とほぼ同等と比肩できる結果を得た。更にこの装置を用いた培養により、炭酸ガスの摂取速度からノリの合成について、日周性等の知見を得た。

この研究は元来工業化を目指して開始したが、電力コストが、石油ショック以来急騰したことと、他方ノリ養殖技法の発展によってノリ生産が増大したことにより、企業化の可能性は無に等しいが、高品質化への応用など、利用できる内容を多く含んでおり報告にまとめた。

おわりにあたり終始本研究を指導し、且つこの報告をまとめる事に理解と鞭撻をたまわつた協和醸酵工業株式会社現相談役木下祝郎博士に深謝申し上げます。

要 約

アマノリ属葉体の人工培養を 2 m³ の大型槽を用いて実施し次の結果を得た。

1. ドラフト付気泡攪拌槽を用い浮遊培養によって、ノリ葉体は順調に生育し、葉体培養密度は最大 600 g (dry)/m³, 単位液量当りノリ生産力は最大 60.3 g (day) m³・day, 光源消費電力は最少 0.80 KWH/g (day), 日生長率は最大 30%/day の成績を得た。
2. 光源には水銀灯、殊にタリウム水銀灯を用いることとし、最大照度 350 Klx まで強光での試験を試みた。この条件下では強光阻害により成長は7割に低下したが、なお約 10%/day の日生長率を維持し得た。
3. 気泡攪拌の代りに機械攪拌を試み 75 回転/分の緩やかな攪拌で通気の代替のことがわかった。
4. 人工海水の長期間使用を検討し 100 日間の連続使用に成功した。
5. 貝殻粉末を基質とした採苗法を用い、大型槽での幼芽培養を検討し、充分利用できることを確かめた。
6. 培養槽中の pH 変化を指標に炭酸ガスの摂取速度を測定する方法を案出し、これを用いて、明暗期の光合成能力の経時変化を追跡し、或いは光の飽和度を測定した。明期中の光合成能は時間と共に低下する一方、暗期に回復する傾向を示す。
7. 人工培養葉体の品質を元素分析により養殖製品と比較し、特上品と比肩できることを認めた。

文 献

- 1) 今田 克, 宇宿友淳, 安藤 真, 斉藤祐一: 日水誌, 52, 1323-1338 (1986).
- 2) 今田 克, 安藤 真, 斉藤祐一: 日水誌, 52, 1501-1508 (1986).
- 3) 寺本賢一郎, 木下祝郎: 藻類, 17, 76-79 (1969).

- 4) 寺本賢一郎, 木下祝郎: 藻類, **17**, 29-37 (1969).
- 5) 寺本賢一郎, 木下祝郎: 藻類, **17**, 70-75 (1969).
- 6) 今田 克, 斉藤祐一: 日水誌, **49**, 399-407 (1983).
- 7) 今田 克, 斉藤祐一: 日水誌, **52**, 1313-1322 (1986).
- 8) 今田 克, 日水誌, : **49**, 1-5 (1983).
- 9) 今田 克, 日水誌, : **50**, 931-936 (1984).
- 10) 今田 克, 安部敏男: 日水誌, **48**, 1507-1516 (1982).
- 11) 今田 克, 斉藤祐一: 水産増殖, **32**, 102-114 (1984).
- 12) 野田宏行: 日水誌, **37**, 30-39 (1971).
- 13) 片田 実: のりの病気 (日本水産学会編), 恒星社厚生閣, 東京, 1973, pp. 81-93.
- 14) 今田 克, 安藤 真, 前木 樹: 日水誌, **35**, 362-378 (1969).
- 15) 今田 克, 安藤 真, 斉藤祐一, 前木 樹, 関達哉: 日水誌, **36**, 889-905 (1970).
- 16) 大房 剛, 荒木 繁, 桜井武磨, 斉藤宗勝: 日水誌, **43**: 245-251 (1977).
- 17) Harvey: Chemistry & fertility of seawater, New York, 1951, pp. 163-175.